

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS**

**“APLICACIÓN DEL MÉTODO JET GROUTING PARA LA  
IMPERMEABILIZACIÓN DE LA REPRESA ANCASCCOCHA Y  
DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN MINERA LAS BAMBAS -APURÍMAC”**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. LUIS MILTON VARGAS HUAMAN**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**ASESOR:**

**MGT: RAIMUNDO MOLINA DELGADO**

**CUSCO – PERÚ**

**2020**

### **DEDICATORIA:**

*A las grandes motivaciones de mi vida mi hermosa familia, en especial a mis padres **CELESTINO VARGAS A. Y GLORIA HUAMÁN H.**, por su apoyo incondicional y sacrificio constante de hacer lo imposible posible, fuente de esperanzas de un futuro mejor que acompañan las decisiones de mi vida, y a mis siete HERMANAS **Mary, Gloria, Yusi, Estefanía, Marisabel, Helen y Milagros** quienes estuvieron presente cuanto más los necesitaba.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios todo poderoso que siempre estuvo presente, guiándome por buenos caminos de la vida y abriéndome oportunidades de seguir con este gran reto de la vida; a mis padres que con sus bendiciones iluminan mi camino y por su apoyo incondicional, hacen posible el logro de mis objetivos y metas.*

*A la gloriosa Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco por ser el centro de mis conocimientos y formación adquirida, a la plana de docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por las sabias enseñanzas, al Mgt. Raimundo Molina Delgado por su orientación en la realización de este trabajo como asesor que sin su ayuda no hubiera sido posible el desarrollo de ésta Tesis.*

## **RESUMEN**

La presente investigación se desarrolló en la REPRESA ANCASCCOCHA, ubicada en la minera LAS BAMBAS provincia de Cotabambas, departamento de Apurímac, por encima de los 4,500 m.s.n.m.

Los estudios preliminares de factibilidad y expediente técnico de la represa Ancascococha han encontrado valores de permeabilidad muy desfavorables en la creación de la represa, que pueden significar grandes pérdidas de agua y poner en riesgo el almacenamiento deseado.

El problema de la permeabilidad de la represa Ancascococha, implica que es necesario la ejecución de una cortina de inyecciones de lechada en el eje de la fundación de la represa, con el propósito de alcanzar valores de permeabilidad óptimos.

Las inyecciones de impermeabilización de la presa son realizadas aplicando los criterios del método JET GROUTING (inyecciones de lechada) por ser este método, técnica y económicamente positivo. Se inició con el diseño de mezclas el cual fue puesto a prueba en los taladros exploratorios con las pruebas de inyección de acuerdo a las características geomecánicas de la roca.

Dichas pruebas de inyección fueron corroboradas con taladros de verificación y pruebas de permeabilidad in situ. Las pruebas de permeabilidad obtenidas inicialmente son comparadas con los valores obtenidos después del tratamiento y se demostró que el método fue aplicado satisfactoriamente ya que alcanzó óptimos valores.

Tomando en cuenta que las inyecciones fueron aplicadas satisfactoriamente se hizo un análisis hidrológico de la capacidad de almacenamiento de la represa Anccascococha para posterior sea comparado con el agua abastecida a la minera las Bambas.

Finalmente se realizó un análisis de costos, del costo total del represamiento frente al costo de bombeo de agua.

## INDICE

CAPITULO I.....	9
EL PROBLEMA .....	9
1.1.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL PROBLEMA EN LA MINERA LAS BAMBAS. ..	9
1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	10
1.3.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. ....	11
1.4.- OBJETIVOS .....	12
1.5.- HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACION. ....	12
1.6.- ALCANCES Y LIMITACIONES. ....	13
1.6.1.- ALCANCES.....	13
1.6.2.- LIMITACIONES .....	14
1.7.- IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE VARIABLES. ....	14
1.8.- JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	15
CAPITULO II.....	16
MARCO TEORICO .....	16
2.1.- ANTECEDENTES DEL ESTUDIO E INVESTIGACIÓN. ....	16
2.2.- GEOMECANICA Y GEOTECNIA. ....	17
2.3.- HIDROLOGÍA DE LAS BAMBAS.....	21
2.4.- REPRESAS .....	23
2.4.2.- TIPOS DE REPRESA.....	25
2.4.3.- CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA UBICACIÓN DE LA REPRESA. .....	26
2.4.4.-FUERZAS ACTUANTES SOBRE LAS PRESAS DE CONCRETO. ....	27
2.5.- INYECCIONES. ....	28
2.5.1.- TIPOS TRADICIONALES DE INYECCIÓN. ....	29
2.6.- EQUIPO DE PERFORACIÓN A CIELO ABIERTO.....	31
2.6.1.-PERFORADORA TRACK DRILL .....	31
2.7.- INYECCIÓN DE CEMENTO PARA REPRESAS.....	31
2.7.1.- CRITERIOS PARA EVALUAR LA INYECCIÓN EN FUNDACIONES .....	32
2.7.2.- CONSIDERACIONES GEOLÓGICAS PARA LAS INYECCIONES.....	32
2.7.3. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LAS CORTINAS DE INYECCIONES.....	35
2.8.- PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.....	37
2.8.1.- ENSAYOS DE PERMEABILIDAD .....	37
CAPITULO III .....	42

AMBITO DE ESTUDIO Y METOLOGIA .....	42
3.1.- UBICACIÓN.....	42
3.2.- ACCESIBILIDAD .....	43
3.3. _GEOLOGIA: .....	45
3.3.1.- GEOLOGÍA REGIONAL.....	45
3.3.2.- GEOLOGÍA LOCAL.....	47
3.4.- MINERIA (OPERACIONES MINERAS) .....	50
3.5.-DESCRIPCION DE LA REPRESA ANCASCCOCHA .....	56
3.5.1.- ASPECTOS GENERALES .....	56
3.5.2.- ESTUDIOS BASICOS.....	57
3.5.2.- CONCEPCIÓN DE LOS COMPONENTES Y OBRAS CONEXAS DEL REPRESAMIENTO .....	58
3.5.3.- CARACTERÍSTICAS DE LA REPRESA. ....	59
3.5.4.- HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA .....	61
3.6.- OFERTA HIDRICA.....	64
3.6.1.-ESTIMACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA.....	64
3.6.2.-DEMANDA HÍDRICA EN LA MINERA LAS BAMBAS.....	65
3.6.3.- ALMACENAMIENTO DE LA REPRESA ANCASCCOCHA .....	66
3.7.- EVALUACION DE PERMEABILIDAD IN-SITU. ....	68
3.8.- METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION .....	70
3.8.1.- TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	70
3.8.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	70
3.8.3. POBLACIÓN Y MUESTRA. ....	71
3.8.4.-IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS VARIABLES. ....	71
3.8.5.- TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS. ....	71
CAPITULO IV .....	74
APLICACIÓN DEL JET GROUTING Y DISPONIBILIDAD HIDRICA DE LA REPRESA ANCASCCOCHA.....	74
4.1.-GENERALIDADES .....	74
4.2.- ELECCION DEL METODO JET GROUTING INYECCIONES EN LA REPRESA .....	75
4.3.-CARACTERISTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LA REPRESA ANCASCCOCHA .....	77
4.4. ENSAYOS DE CAMPO (GEOTECNIA).....	79
4.5.- MATERIALES DE INYECCION .....	93
4.5.1.- MATERIALES .....	93

4.6.- LECHADA DE CEMENTO .....	94
4.7.- ENSAYOS DE LABORATORIO EN CAMPO PARA MESCLA DE INYECCION..	95
4.7.1.-VISCOSIDAD MEDIA CON EL EMBUDO MARSH (ASTM C939-02).....	95
4.7.2.-DENSIDAD DE LA MEZCLA .....	96
4.7.3.-RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (ASTM C109/C109M-02).....	96
4.8.- EQUIPO DE INYECCION.....	97
4.8.1. PROCESO BÁSICO DE UNA INYECCIÓN: .....	98
4.9.- CARACTERISTICAS DE INYECCIÓN .....	99
4.9.1.- PRESIONES PARA GROUTING EN ROCAS. ....	99
4.9.2.- ESTIMACIÓN DEL RADIO DE INFLUENCIA DEL GROUT EN LA INYECCIÓN .....	100
4.9.3.- LIMITACIONES DE LECHADA .....	101
4.9.4.- LA DURABILIDAD DE LA LECHADA.....	102
4.10.- HIDROFRACTURAMIENTO .....	103
4.11.- DISEÑO DE CORTINAS DE GROUTING.....	103
4.12.- ESPACIAMIENTO DE LOS TALADROS .....	104
4.13.- PRUEBAS DE INYECCIÓN .....	105
4.14.- ALMACENAMIENTO DE AGUA.....	110
4.15.- COSTO TOTAL DE LA REPRESA ANCASCCOCHA .....	112
6.5.- COSTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA MINERA LAS BAMBAS .....	116
CAPITULO V .....	117
ANÁLISIS DE DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	117
5.1- ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE LA PERMEABILIDAD .....	117
5.2.- EVALUACION DE LA PERMEABILIDAD .....	118
5.3.- REDUCION DE PERMEABILIDAD EN LOS ESTRIBOS .....	118
5.4. DEMANDA DE AGUA.....	120
6.5.- COSTO DE OPERACIÓN DE LA IMPERMEABILIZACION.....	121
5.5.1.- COSTO DE LA REPRESA .....	121
5.6.- COSTO DE BOMBEO DE AGUA MINERA LAS BAMBAS .....	122
CONCLUSIONES.....	123
RECOMENDACIONES .....	124
ANEXOS.....	126



## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL PROBLEMA EN LA MINERA LAS BAMBAS.**

La oferta hídrica de los afluentes supera la demanda de agua de las operaciones, esto a través de represamiento o llamado también cosecha de agua, para el almacenamiento adecuado de agua se requiere impermeabilizar la represa, a través de métodos de inyección.

La inyección, es un proceso mediante el cual, las fisuras y grietas geológicas, son sellados para reducir la filtración y fortalecer los cimientos de la represa, incrementando de este modo, las propiedades geomecánicas del eje de la represa.

Para solucionar el problema las inyecciones de lechada tienen el objetivo de reducir la permeabilidad del macizo rocoso, en la base de la fundación de la represa Ancascococha, esto se construye mediante inyección de lechada de una o más filas perforadas e inyectadas dependiendo de sus propiedades geomecánicas del macizo rocoso.

Es importante saber identificar los medios que se pueden utilizar para remediar la naturaleza del terreno, también determinar cuáles son los factores que intervienen para determinar las condiciones de empleo de las inyecciones.

La demanda hídrica en la minera la Bambas es considerable alcanzando un gasto hídrico de 430 700 m<sup>3</sup> al año.

## **1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En la minera Las Bambas, no se conoce la disponibilidad y comportamiento de los recursos hídricos que se producen en las áreas de influencia hídrica, la laguna Ancascococha cuyas aguas producidas estacionalmente son de interés para cubrir las demandas hídricas requeridas para el desarrollo de las operaciones mina (perforación, regado de vías, tratamiento del mineral, etc.).

El macizo rocoso donde se ubica la represa fue estudiado en la etapa de expediente técnico a fin de determinar sus condiciones geotécnicas y geomecánicas para el almacenamiento de agua; estos estudios demostraron que existe un grado de permeabilidad inadecuado que representa filtraciones que afectan el volumen máximo de almacenamiento.

Existe la necesidad de la aplicación del proceso método JET GROUTING (inyecciones de lechada), la inyección a través cortina profunda de la represa, consiste en una serie de perforaciones realizadas en el eje de la represa que inicialmente servirán para determinar las características geomorfológicas del macizo rocoso de la laguna Ancascococha con el fin de garantizar un almacenamiento efectivo en el futuro embalse que creará esta represa.

Actualmente el agua para el desarrollo de las operaciones mina en la minera LAS BAMBAS es abastecido del rio Challhuahuacho a través de una línea de conducción y equipos de bombeo que es almacenado en la represa Chuspiri ocasionando costos en bombeo, equipos y mantenimiento.

### **1.3.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

#### **a.-Problema general**

**P.-** ¿Cuál es el proceso de la impermeabilización en la represa Ancascococha, aplicando el método Jet Grouting, para la disponibilidad del recurso hídrico y su abastecimiento para las operaciones mina en la Minera las Bambas – Apurímac?

#### **b.- Problema específico.**

**P1.-** ¿En qué medida la impermeabilización utilizando el método Jet Grouting determina la disponibilidad del recurso hídrico para las operaciones mina en la minera las Bambas – Apurímac?

**P2.-** ¿En qué medida se reducirá la permeabilidad del macizo rocoso aplicando el método Jet Grouting?

**P3.-** ¿Cómo son los costos de operación de la impermeabilización en la represa Ancascococha utilizando el método Jet Grouting de inyecciones en la minera las Bambas?

## **1.4.- OBJETIVOS**

### **a. Objetivo General.**

**O.-** Desarrollar el proceso de las cortinas de impermeabilización en la represa Ancascococha, aplicando el método Jet Grouting. Para la disponibilidad del recurso hídrico y su abastecimiento para las operaciones mina en la minera las Bambas – Apurímac.

### **b. Objetivos Específicos.**

**O1.-** Determinar la capacidad de almacenamiento del recurso hídrico en la represa para el desarrollo de las operaciones mina.

**O2.-** Reducir la permeabilidad del terreno de fundación de la represa Ancascococha utilizando el método Jet Grouting en base a las características geológicas y geotécnicas del macizo rocoso.

**O3.-** Determinar los costos de operación utilizando el método Jet Grouting de inyecciones en la represa Ancascococha.

## **1.5.- HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACION.**

### **a.- Hipótesis General**

**H.-** Con la utilización el método Jet Grouting se impermeabilizará las fracturas de la fundación del macizo rocoso en la represa Ancascococha, y determinar la disponibilidad del recurso hídrico y su abastecimiento para las operaciones mina de la minera las Bambas.

## **b.- Hipótesis Específicos**

**H 1.-** Con la aplicación del método Jet Grouting de inyecciones se determinará la capacidad del recurso hídrico en la represa para el desarrollo de las operaciones mina en la minera las Bambas.

**H2.-** La efectividad en el proceso de la impermeabilización reducirá la permeabilidad del macizo rocoso, aplicando el método Jet Grouting de inyecciones en la represa Ancascococha.

**H3.-** Los costos de operación de la impermeabilización en la represa Ancascococha utilizando el método Jet Grouting de inyecciones serán menores en comparación al costo de equipamiento y bombeo de agua en la represa Chuspiri.

## **1.6.- ALCANCES Y LIMITACIONES.**

### **1.6.1.- Alcances.**

- ✓ Evaluar la disponibilidad del recurso hídrico para uso en la minera las Bambas.
- ✓ Describir y adaptar el método Jet Grouting (inyecciones de lechada) de inyecciones.
- ✓ Establecer la necesidad de realizar las inyecciones de impermeabilización en las cortinas de impermeabilización de la presa Ancascococha.
- ✓ Disminuir a valores mínimos el grado de permeabilidad del macizo rocoso en la pantalla de impermeabilización.
- ✓ análisis y síntesis de la información haciendo uso de software convencional: AutoCAD Civil 3D, ArcGIS, Microsoft Excel y s10 costos y presupuestos.

### 1.6.2.- Limitaciones

- ✓ La presente investigación está limitada en el ámbito de la concesión de la Minera las bambas respecto al uso del recurso hídrico.
- ✓ La pantalla de impermeabilización comprende únicamente al eje de la represa y está no afecta la estanquidad de la represa.
- ✓ La pantalla de impermeabilización está limitada desde el nivel del espejo de la laguna hasta una profundidad de 5-10 metros, de acuerdo con los planos de diseño.

### 1.7.- IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE VARIABLES.

- **Variable Independiente:** Implementación del método Jet Grouting.
- **Variable Dependiente.** Disponibilidad Hídrica.

CUADRO N° 1.1: Operacionalización de variables

Operacionalización De Variables			
VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE VALORACION
VARIABLE INDEPENDIENTE	Impermeabilización de la presa	Diseño de mezclas	Fc= Kg/cm2
Implementación Método Jet Grouting	Desarrollo de Inyecciones.	Inyecciones de impermeabilización	Lechadas Fc= Kg/cm2
		Sondajes de verificación	Metros
VARIABLE DEPENDIENTE	Aprovechamiento de recurso hídrico.	Actividad minera.	Tn. de mineral
Disponibilidad Hídrica		Uso de agua.	M3
		Área de cuenca	Km2

FUENTE: Elaboración propia

## **1.8.- JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.**

Las cortinas de inyección son los principales procesos de mejoramiento del macizo rocoso. El cual se desarrollará sobre la cimentación de la represa Ancascococha, cuya finalidad es la de garantizar el almacenamiento máximo de las aguas.

El presente estudio permite conocer las condiciones de permeabilidad y aplicar el método Jet Grouting (inyecciones de lechada) en la represa Ancascococha, además su propósito principal es reducir el grado de permeabilidad en la roca de fundación y de esta manera garantizar el almacenamiento efectivo de la estructura. Así asegurar la disponibilidad del recurso hídrico para el abastecimiento de las operaciones mina en la minera la Bambas.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1.- ANTECEDENTES DEL ESTUDIO E INVESTIGACIÓN.**

- a) **Mejoramiento de fundación de presas utilizando el método de inyección. Universidad Nacional de Ingeniería-2015 Jara Fernández Waldir.**

La presente tesis tiene como objetivo añadir al conocimiento de los procesos de inyección en macizos rocosos, para desarrollarlos de una forma eficiente en futuros proyectos, mediante la revisión del análisis.

Los parámetros definidos a partir de las investigaciones geológicas, geotécnicas, hidrogeológicas, en el macizo rocoso, son fundamentales para realizar la cortina de inyección. La experiencia del diseñador es un factor importante en el criterio y consideraciones para el diseño.

- b) **Aplicación del método GIN para la pantalla de impermeabilización de la presa Pumamayo” Universidad Nacional San Agustín de Arequipa -2006. Rimachi Taco Elard.**

Desarrollar el proceso de impermeabilización en la base de la represa Pumamayo - distrito de Macusani, aplicando el método GIN de inyecciones. Se determinó y comparó el método



convencional o tradicional de cortina de inyecciones y el método GIN y se concluyó que el método GIN es técnica y económicamente más fructífero, por lo tanto, debe ser aplicado en la represa Pumamayo.

## **2.2.- GEOMECANICA Y GEOTECNIA.**

### **2.2.1.- clasificación Geomecanica (RMR)**

Sustentado por (Bieniawski, (1989)) constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite obtener un índice de calidad del macizo rocoso a partir de la resistencia de la roca intacta, fracturación, diaclasa, presencia de agua, etc...

El parámetro que define la clasificación se denomina índice RMR (ROCK MASS RATING), que indica la calidad del macizo rocoso, a partir de los siguientes parámetros:

- a. Resistencia a la compresión simple del material.
- b. Grado de fracturación del macizo rocoso en parámetros de RQD.
- c. Espaciamiento de las discontinuidades (PLANOS DE DEBILIDAD).
- d. Condiciones de las discontinuidades, el cual comprende en considerar los siguientes parámetros:
  - ✓ Abertura de las caras de la discontinuidad.
  - ✓ Continuidad de la discontinuidad.
  - ✓ Rugosidad.
  - ✓ Relleno de la discontinuidad.
- e. Presencia del Agua, en un macizo rocoso, el agua tiene gran influencia sobre el comportamiento del macizo rocoso, existen descripciones utilizadas para este

parámetro los cuales son: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión alta.

Para obtener el RMR de Bieniawski se realiza lo siguientes cálculos:

1. Se suma todos los parámetros calculados, dando como resultado un indicador (RMR básico).

$$\text{RMR} = a + b + c + d + e$$

a. 1° **Parámetro: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

*TABLA N° 2.1: Resistencia a la compresión*

DESCRIPCION	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE (MPa)	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (MPa)	VALORACION
Extremadamente dura	> 250	>10	15
Muy dura	100 - 250	4-10	12
Dura	50 - 100	2-4	7
Moderadamente dura	25 - 50	1-2	4
Blanda	5 - 25	<1	2
Muy blanda	1 - 5		1
	<1		0

*FUENTE: clasificación del macizo rocoso según (Barton, Bieniawski, Hoek y Brown)*

b. 2° **Parámetro: CÁLCULO DEL R.Q.D.**

La calidad de roca RQD se determina por:

1. Trozos de rocas en testigos mayores e iguales de 10 cm recuperados en perforaciones o sondeos.

La ecuación a utilizarse es la siguiente:

$$RQD = \frac{\sum(\text{trozos} > 10\text{cm})}{\text{log.total de la perforacion}} * 100\% \quad (2.1).$$

El valor obtenido en las formulas 1,2 y 3 son comparados con la siguiente tabla:

*TABLA N° 2.2: Índice de calidad de roca*

INDICE DE CALIDAD RQD(%)	CALIDAD	VALORACION
0 - 25	Muy mala	3
25 - 50	Mala	8
50 - 75	Regular	13
75 - 90	Buena	17

*FUENTE: clasificación del macizo rocoso por (Barton, Bieniawski, Hoek y Brown)*

**c. 3° PARÁMETRO: SEPARACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES.**

*TABLA N° 2.3: Valoración de la separación de las discontinuidades*

DESCRIPCION	ESPACIADO DE LAS JUNTAS	TIPO DE MACIZO ROCOSO	VALORACION
Muy separadas	>2 m	Solido	20
Separadas	0.6 - 2 m	Macivo	15
Moderadamente juntas	200 - 600 mm	En bloques	10
Juntas	60 - 200 mm	Fracturado	8
Muy Juntas	< 60 mm	Machacado	5

*FUENTE: clasificación del macizo rocoso por (Barton, Bieniawski, Hoek y Brown).*

**d. 4° PARÁMETRO: CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES.**

**Aberturas de las discontinuidades.**

*TABLA N° 2.4: Valoración de la condición de las discontinuidades*

GRADO	DESCRIPCION	SEPARACION DE LAS ROCAS	VALORACION
1	Abierta	> 5mm	0
2	Moderadamente abierta	1 - 5 mm	1
3	Cerrada	0.1 - 1 mm	4
4	Muy cerrada	< 0.1 mm	5
5	Ninguna	0	6

*FUENTE: Clasificación del macizo rocoso según (Barton, Bieniawski, Hoek y Brown)*

## Rugosidad de las discontinuidades

*TABLA N° 2.5: Valoración de la rugosidad de las discontinuidades*

GRADO	DESCRIPCION	VALORACION
1	Muy rugoso	6
2	Rugoso	5
3	Ligeramente rugoso	3
4	Lisa	1
5	Plana (espejo de falla)	0

*FUENTE: clasificación del macizo rocoso por (Barton, Bieniawski, Hoek y Brown)*

## 5° PARAMETRO: LA PRESENCIA DEL AGUA.

*TABLA N° 2.6: Valoración de presencia de agua*

GRADO	DESCRIPCION	VALORACION
1	Completamente seco	15
2	Semi humedo	10
3	Humedo	7
4	Mojado	4
5	Flujo de agua	0

*FUENTE: clasificación de los macizos rocosos según (Barton, Bieniawski, Hoek y Brown)*

## CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO CON RELACION AL INDICE RMR

TABLA N° 2.7: Calidad del macizo rocoso RMR

CLASE	CALIDAD	VALORACION RMR	COHESION
I	Muy buena	100-81	4 kg/cm <sup>2</sup>
II	Buena	80-61	3-4 Kg/cm <sup>2</sup>
III	Media	60-41	2-3Kg/cm <sup>2</sup>
IV	Mala	40-21	1-2Kg/cm <sup>2</sup>

FUENTE: clasificación del macizo rocoso por (Barton, Bieniawski, Hoek y Brow).

### 2.3.- HIDROLOGÍA DE LAS BAMBAS.

La fuente de agua fresca de la minera las BAMBAS es proveído a partir del río Challhuahuacho, la extracción del agua del río CHALHUAHUACHO se logra mediante un reservorio construido en el cauce del río, la oferta anual del río Challhuahuacho y chila supera la demanda de agua necesaria en la minera las BAMBAS, esa oferta de agua es variable según la época del año y por lo tanto se definen volúmenes de regulación para disponer del agua requerido a lo largo de todo el año.

El volumen de regulación en el reservorio de Challhuahuacho se limitará a un almacenamiento máximo de agua de 1,1Mm<sup>3</sup>. Como consecuencia de esto se tiene la presa de Chuspiri de 2.5 Mm<sup>3</sup> de capacidad.

#### 2.3.1.- CLIMA Y METEOROLOGÍA.

El clima de la zona es muy variado, esto básicamente se debe a la fisiografía del terreno y a la variación de cotas, así como a la presencia de la cordillera de los andes que interfiere en el paso de las nubes haciendo que las precipitaciones se presenten mayormente en estas regiones.

Entre las cotas 4 000 y 4 600 msnm, se presentan nubes del tipo estratocúmulos (grandes masas oscuras) que cubren toda el área dificultando la visibilidad la Oficina General de Estadística e Informática del SENAMHI brinda información de hasta cinco estaciones meteorológicas que existen alrededor de la zona de estudio a continuación los datos obtenidos para el proyecto las bambas:

*CUADRO N°2.1: Estaciones Meteorológicas de SENAMHI en Entorno del Proyecto (Departamento de Apurímac)*

N°	Nombre	Coordenadas UTM			Ubicación Geográfica		Distancia a Proyecto (km)
		Norte	Este	Cota (msnm)	Distrito	Provincia	
1	Tambobamba	8 457 823	806 173	3 275	Tambobamba	Cotambambas	22
2	Pampapuquio	8 439 964	751 931	3 320	Santa Rosa	Grau	32
3	Chuquibambilla	8 439 999	748 330	3 320	Chuquibambilla	Grau	36
4	Antabamba	8 410 676	728 260	3 639	Antabamba	Antabamba	63
5	Chalhuanca	8 409 093	697 680	3 358	Caraybamba	Aymaraes	92

*FUENTE: Estudio hidrogeológico LAS BAMBAS.*

### **2.3.1.1.- TEMPERATURA.**

Tomando los resultados mensuales a partir del año 2003. Siendo la Temperatura Media Anual de 13,6° C; presentando el más caluroso noviembre, con una Temperatura Media de 16,1° C; y el mes más frío viene a ser Julio, con una Temperatura Media Mensual de 11,9° C.

*CUADRO N° 2.2: Temperatura media mensual (Minera las Bambas)*

Año/Mes	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Media Anual
2003	14,1	13,7	13,4	13,5	12,8	12,0	11,9	12,5	13,4	15,7	16,1	14,4	13,6

*FUENTE: Estudio hidrogeológico LAS BAMBAS.*

### 2.3.1.2.- PRECIPITACIÓN.

La precipitación es una de las variables más importantes para el estudio de la represa Ancascococha es muy necesario analizarla estas precipitaciones producidas durante los años 1996 al 2004, esto debido a que en este promedio de tiempo se deduce que la precipitación promedio acumulado anual que varía entre 854 y 1189,7 mm/año, obteniéndose promedios mínimos y máximos.

CUADRO N° 2.3: Precipitación anual (el 93.7% de la precipitación total anual se concentra entre los meses de octubre a abril

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Prom. Máximo	325,6	293,9	214,9	84,4	26,5	7,2	14,8	38,7	40,5	120,5	120,7	202,1	1 489,8
Prom.	226,7	204,9	171,0	59,5	14,8	3,0	4,9	19,1	29,1	75,9	75,3	160,0	1044,2
Prom. Mínimo	163,3	143,5	122,5	38,7	2,3	0,0	0,0	2,5	15,8	21,7	24,6	78,4	613,3

FUENTE: Estudio hidrogeológico LAS BAMBAS.

### 2.4.- REPRESAS

Llamada también presa que es una barrera construida con piedra, concreto o materiales sueltos, que se construye en el cauce del río o arroyo. Esto con la finalidad de almacenar la mayor cantidad de agua requerida del vital líquido para el consumo humano y para otros usos industriales, en el caso de esta tesis para satisfacer un porcentaje de la demanda para las operaciones mina.

*IMAGEN N° 2.1: Represa CHUSPIRI (las Bambas)*



*FUENTE: Archivo personal.*

#### **2.4.1.- Uso de las represas**

- **Represa de almacenamiento:** su objetivo principal es el de retener agua, se suministran en función de las necesidades deseadas.
- **Represa para control de avenidas:** Generalmente se construyen para que permanezcan vacíos, estas se llenan rápidamente con la llegada de la avenida o caudal y esta disminuye lentamente, con el objetivo de no provocar daños en lugares bajos.
- **Represa para generación de energía eléctrica:** El agua almacenada en la represa (energía potencial) se conduce mediante una tubería a una turbina hidráulica, que convierte la energía potencial a energía eléctrica por medio de un generador eléctrico.



#### 2.4.1.1.- PARTES DE UNA REPRESA:

Partes que componen una represa:

- **El embalse:** cantidad de agua que queda almacenada.
- **El vaso:** es la parte más baja de la represa a inundarse.
- **La cerrada:** la línea o eje en la que será construida la represa.
- **La represa:** es el muro o dique que debe soportar el empuje del agua y no permitir la filtración del agua hacia abajo.
- **Los paramentos:** el interior, que está en contacto con el agua, y el exterior.
- **La coronación:** es la superficie que delimita la presa superiormente.
- **Los estribos:** los laterales, que están en contacto con las paredes de la cerrada.
- **La cimentación:** la superficie inferior de la presa, a través de la cual descarga su peso al terreno.
- **El aliviadero o vertedero:** es una estructura que permite descargar agua excedente cuando la presa se llena.
- **La toma:** Permite la extracción de agua regulada mediante compuertas.

#### 2.4.2.- TIPOS DE REPRESA

**2.4.2.1.- Represas de tierra.** Son construidas a base de tierra suelta muy compactada que se construye dándole la forma de terraplenes, para conseguir su impermeabilidad se realiza distintos métodos como: Grouting, pantallas impermeables de arcilla o concreto.

**2.4.2.2.- Represas de concreto.** Son construcciones más estables y duraderas ya que presentan mayor capacidad portante; debido a que su cálculo es del todo fiable frente a las producidas en otros materiales.

### **2.4.3.- CONSIDERACIONES PARA LA UBICACIÓN DE LA REPRESA.**

#### **2.4.3.1.- Consideraciones topográficas.**

Tener en cuenta la menor longitud posible, esto se logra ubicándola en cañoneos estrechos. En el caso la represa Ancascococha se ubica en la salida del vaso de la laguna esto para lograr el embalsamiento necesario.

#### **2.4.3.2.- Consideraciones geológicas.**

Tener en cuenta que se construirá en un lugar que presente las condiciones geológicas favorables.

#### **2.4.3.3.- Consideraciones hidrológicas.**

Tomar en cuenta si la represa será construida en una laguna, cauce del río, etc.

#### **2.4.3.4.- Consideraciones hidráulicas.**

El sitio escogido para la construcción de la represa facilitara la desviación del cauce en la construcción de las obras y la derivación del río durante la operación.

#### **2.4.3.5.- Consideraciones estructurales**

La disposición curva de la represa aumenta la distribución de los esfuerzos hacia los estribos.

#### **2.4.4.-FUERZAS ACTUANTES SOBRE LAS PRESAS DE CONCRETO.**

Sobre una presa actúan tres tipos de cargas:

- a. cargas principales.
- b. cargas secundarias.
- c. cargas excepcionales.

##### **a. Las cargas principales.**

Son las actuantes sobre la estructura de la represa:

1. **Carga de agua:** Se debe a la presencia de la distribución hidrostática de presión generada por la altura de carga ocasionado por el agua, tiene una resultante una fuerza horizontal, también existe componente o fuerza vertical en el caso de que el espaldón de aguas arriba tenga un talud.
2. **Carga del peso propio:** Se genera por el peso específico de la estructura presentando esfuerzos normales y cortantes. Estas fuerzas actúan a través del centro de presión.
3. **Carga de infiltración:** Estas cargas se producen dentro y por debajo de la construcción de la represa, en los poros y las fisuras generando una carga resultante vertical identificada como un empuje externo e interno.

##### **b. Las cargas secundarias.**

Temporales o que no pueden presentarse durante la vida útil de la represa. Estas cargas son:

1. **Carga de sedimentos:** Los sedimentos que se acumulan generan una fuerza horizontal, considerado como una carga hidrostática adicional.
2. **Carga hidrodinámica de ondas:** Es una carga transitoria generada por la acción de las ondas del agua sobre la represa.
3. **Carga de hielo:** Se desarrolla en condiciones climáticas extremas.
4. **Carga térmica (presas de concreto):** Es una carga interna generada por las diferencias de temperaturas.

**c. Las cargas excepcionales.**

1. **Carga sísmica:** Se origina a consecuencia de los movimientos sísmicos.
2. **Efectos tectónicos:** Ocasionado por la perturbación del terreno producida en su construcción.

## **2.5.- INYECCIONES.**

Son procesos mediante las cuales se aplican al subsuelo o un lecho rocoso, esta inyección se introduce en los poros o fisuras del medio a tratar con un producto líquido (mortero o lechada), que se solidifica adquiriendo una resistencia determinada a través del tiempo.

La finalidad principal de este tratamiento es el de impermeabilizar o fortificar los macizos porosos, fisuras de esta manera incrementar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso.

### 2.5.1.- TIPOS TRADICIONALES DE INYECCIÓN.

Existen los siguientes tipos de inyección:

- Por reemplazo o Jet Grouting.
- Por impregnación.
- Por consolidación.

Cada tipo de método de inyección se diferencia básicamente por la presión con la que se inyecta el fluido; diferenciándose así métodos de alta o baja presión.

#### 2.5.1.1.- Inyección por Reemplazo o Jet Grouting.

El JET GROUTING es un tipo de inyección que se utiliza en aplicaciones geotécnicas con la finalidad de mejorar las condiciones geomecánicas de todo tipo de suelo o roca, para la estabilización de taludes, muros de contención y cimentación.

Esta técnica del JET GROUTING ayuda a mejorar las características y propiedades geomecánicas de la matriz rocosa, esto a través de columnas de inyección empleando como cementante normalmente lechada de cemento.

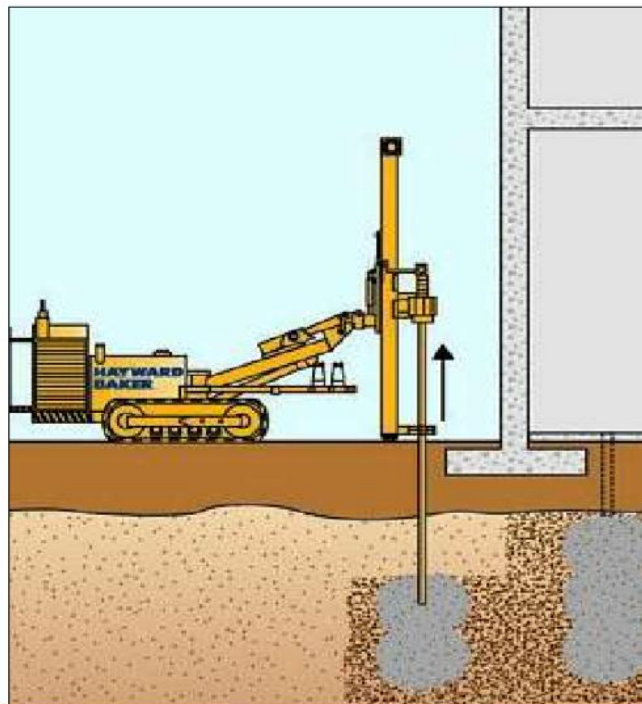
##### a) sistemas

- **Sistema de fluido único:** Se consigue con un chorro de un único fluido a alta presión que en general, es una lechada de cemento.
- **Sistema de doble fluido (aire):** Se produce al inyectar aire a alta velocidad en el macizo rocoso acompañado por un fluido, normalmente lechada de cemento.
- **Sistema de doble fluido (agua):** Consiste en inyectar agua a alta presión, utilizando como acompañante la lechada para conseguir la cementación sólida de la matriz rocosa.

- **Sistema de triple fluido:** Consiste en inyectar inyectar chorro de agua a presión, acompañado por un chorro de aire a presión, utilizando como tercer fluido la lechada de cemento para conseguir la cementación deseada en el macizo rocoso.

El procedimiento constructivo se realiza mediante la perforación hasta profundidades de 10 metros de pendiendo del suelo a tratar, generalmente con un diámetro de alrededor de 10 cm. Posteriormente se inicia el proceso de inyección de fluidos (mortero de cemento), que se introduce a alta presión y velocidad constante la cuales son expulsadas por orificios laterales que giran a velocidades entre 10 a 30 rpm, y realizando la inyección ascienden entre 20 a 80 cm/min junto con la tubería de perforación en su lento ascenso.

*IMAGEN N° 2.2: Proceso de las inyecciones JET GROUTING*



*FUENTE: Mejoramiento de cimientos (UNI) Salomón Ampuero Cayo*

### **b) Aplicaciones**

- Consolidaciones de terrenos dn excavación de túneles, pozos, taludes, etc.
- Refortificacion de cimientos en edificios y estructuras civiles.
- Muros de contención.
- Pantallas impermeables (presas de relave y agua).

## **2.6.- EQUIPO DE PERFORACIÓN A CIELO ABIERTO.**

Estos equipos de perforación de superficie están especialmente diseñados para realizar actividades de cimentaciones, excavación de zanjas para conducciones, proyectos de infraestructura, banqueo, etc.

### **2.6.1.-PERFORADORA TRACK DRILL**

Equipo de perforación que viene montado sobre orugas y autopropulsado, lo cual le permite facilitar su emplazamiento y su estabilidad. Es usada principalmente en perforaciones a cielo abierto.

## **2.7.- INYECCIÓN DE CEMENTO PARA REPRESAS**

En la cimentación de represas mayormente las inyecciones toman la forma de una cortina o pantalla de impermeabilización esto influye con la cantidad de filtración para poder realizar la cortina impermeabilizante, influye mucho la capacidad portante de la roca, la dirección de los estratos, etc.

### **2.7.1.- CRITERIOS PARA EVALUAR LA INYECCIÓN EN FUNDACIONES**

Para elegir el tipo de lechada a utilizar, es muy importante determinar la relación que existe entre las dimensiones y propiedades del mortero, así mismo también las propiedades geomecánicas del suelo. Definido por parámetros hidrológicos del suelo tales como:

- La Existencia de napa freática.
- La Porosidad.
- La granulometría.
- Permeabilidad.

Cuando cantidad de cortinas de lechada es decidido, comparado con la permeabilidad inicial antes de la inyección de la cimentación, nos da una idea si la inyección es necesaria, la inyección de lechada no es necesaria si se verifica que la impermeabilidad es inferior a los estándares de permeabilidad para dicha construcción.

El caso más frecuente para una pantalla de inyección, es cuando la matriz rocosa es muy permeable y será necesaria la aplicación de la inyección para alcanzar la permeabilidad deseada.

### **2.7.2.- Consideraciones geológicas para las inyecciones.**

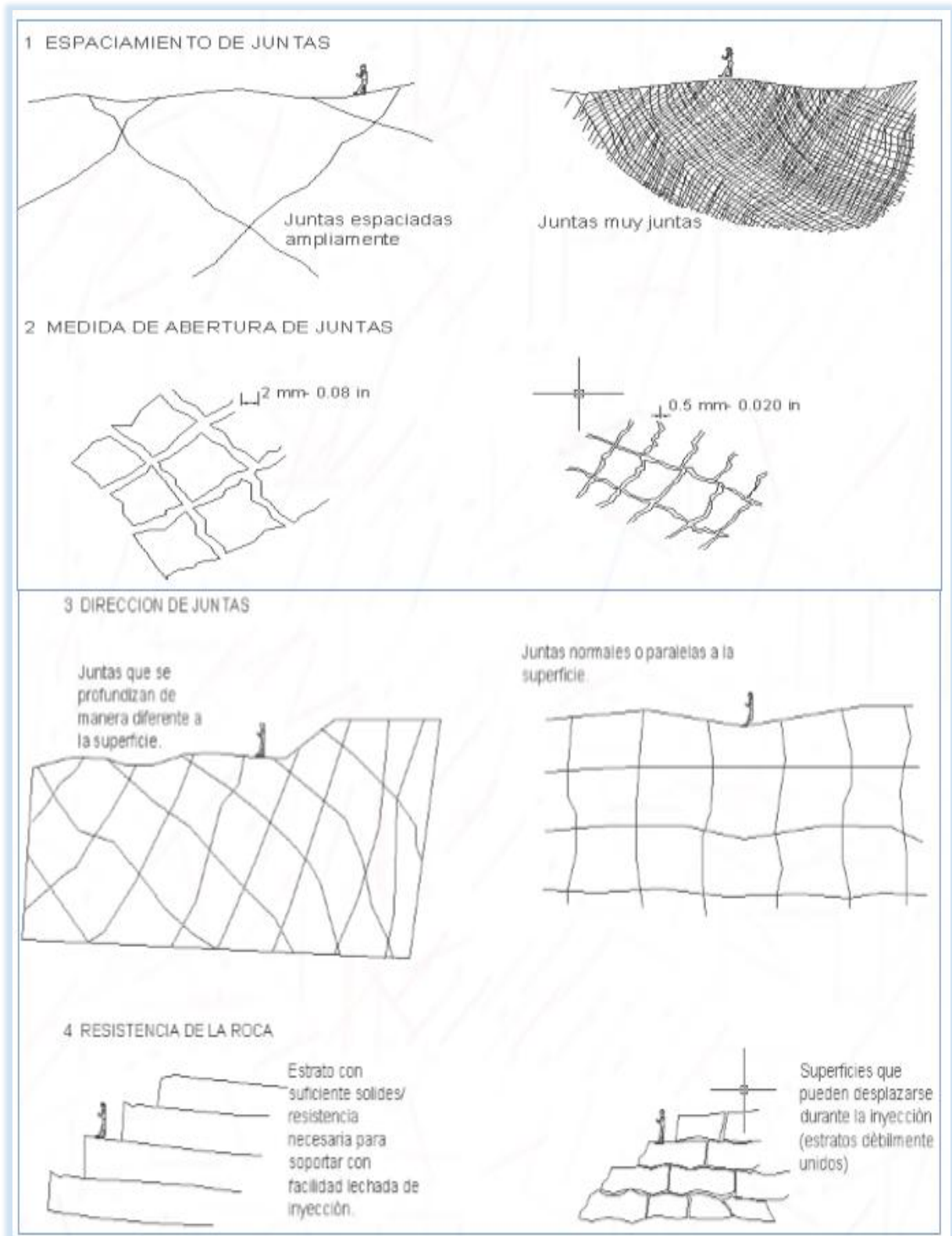
Los aspectos geológicos intervienen directamente en la inyección de lechada de cemento, a continuación, se muestran factores que describen los casos que pueden presentarse:

- a) Factor 1: El espaciamiento de las juntas:** Se dan en estratos rocosos por lo general una buena inyección de realiza en juntas abiertas, que facilitan el paso del fluido y de esta manera se impermeabiliza adecuadamente.



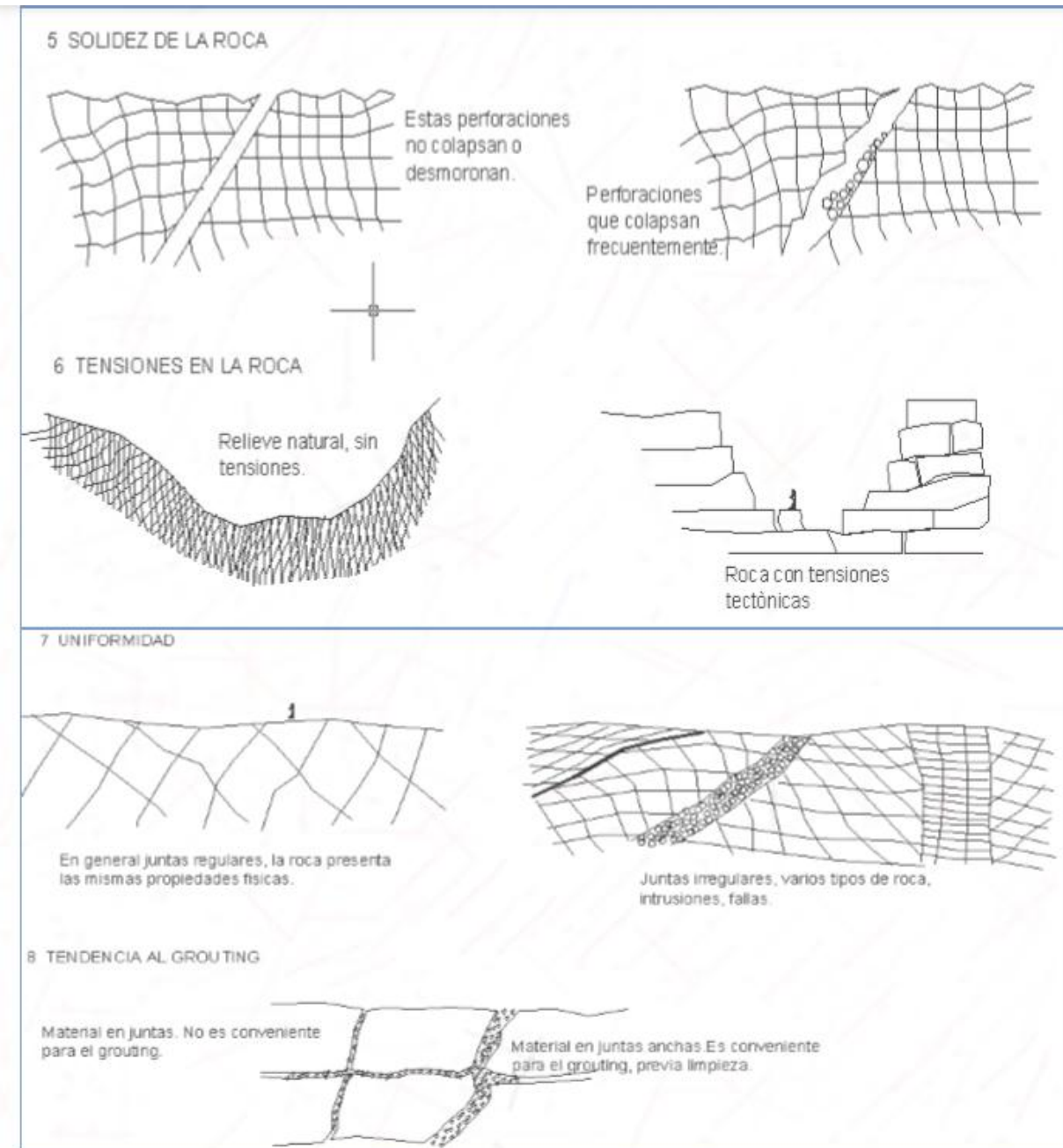
- b) Factor 2: Las aberturas de junta:** deben tener una abertura mayor a 2mm hasta 6mm de abertura, en esta la lechada ingresa con mayor facilidad.
- c) Factor 3: La dirección de las juntas en el estrato rocoso:** Las perforaciones para la inyección se tiene que realizar en sentido opuesto o perpendicular al buzamiento de la matriz rocosa.
- d) Factor 4: La resistencia de la roca:** Ayuda a la lechada a ser inyectada a mayor presión, dependiendo de la capacidad portante de la matriz rocosa.
- e) Factor 5: La solidez de una roca:** Es muy útil que la matriz rocosa sea suficientemente sólida y resistente para que las perforaciones no colapsen.
- f) Factor 6: El esfuerzo en roca:** La presencia del esfuerzo puede ser detectado visualmente. Estos esfuerzos originan en el macizo rocoso la aparición de bloques de roca como el resultado de la aparición gradual de estas grietas, originan una tensión que supera la resistencia de la roca originando la repentina fractura.
- g) Factor 7: La fundación es uniforme:** Es de gran que tenga una formación uniforme para el diseño de las perforaciones.
- h) Factor 8:** El material de las juntas puede ser removido por las filtraciones, entonces puede que la inyección de mortero sea más intensa en juntas de menor ancho ya que si es así se puede realizar una limpieza antes del inyectado.

IMAGEN N° 2.4: Características geológicas a considerar en la inyección



Fuente: Inyección Ischy (1968).

IMAGEN N° 2.5 Características geológicas a considerar en la inyección



Fuente: Inyección Ischy (1968)

### 2.7.3. Consideraciones para el diseño de las cortinas de inyecciones

#### 2.7.3.1. \_ Materiales de inyección.

Los materiales más usados son:

- El Cemento
- Los Materiales arcillosos.
- Los materiales de relleno como la arena o cualquier tipo de cementante.
- Aditivos químicos.
- Agua.

### **Cemento portland**

El cemento Portland es ingrediente principal utilizado para las mezclas de lechadas para los trabajos de mejoramiento de las fundaciones de represas sobre zonas rocosas. Los cementos más utilizados son el tipo I y II. Sin embargo, existe el cemento tipo III cuyo tiempo de fraguado es muy acelerado debido a la finura de su grano.

### **Tipos de Cemento Portland**

- Tipo I:** Este tipo de cemento es el normal y el más utilizado en construcciones civiles (viviendas, estructuras, vías, etc.)
- Tipo II:** Se caracteriza por tener una resistencia media a los ataques de sulfatos.
- Tipo III:** Este cemento alcanza una resistencia inicial alta, su resistencia a la compresión en solo 3 días, es igual a la resistencia a la compresión en siete días de los cementos tipos I y II.
- Tipo IV:** es utilizado cuando se necesita un bajo calor de hidratación.
- Tipo V:** este tipo de cemento se usa para construcciones que necesiten alta resistencia a los sulfatos y álcalis.

CUADRO N° 2.4: Clasificación de cementos (ASTM C150)

TIPO	NOMBRE	APLICACIÓN
I	Normal	Uso general, donde no se requiere otro tipo de cemento
IA	Normal	Uso general, con con incorporacion de aire
II	Moderado	Uso general, y específicamente cuando se desea un moderado calor de hidratacion y moderada resistencia a los sulfatos
IIA	Moderado	Tiene la misma aplicación de tipo II, pero con incorporacion de aire
III	Alta resistencia	Cuando se requiere alta resistencia inicial
IIIA	Alta resistencia	Tiene la misma aplicación de tipo III, pero con incorporacion de aire
IV	Bajo calor de hidratacion	Cuando se requiere obtener un bajo calor de hidratacion
V	resistencia a la accion de los sulfatos	Cuando las estructuras se exponen a alto contenido de los sulfatos

FUENTE: American Society for Testing and Materials (ASTM).

## 2.8.- PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.

Estos ensayos tienen como finalidad determinar la permeabilidad o filtración de agua en el macizo rocoso esto para fines geomecánicas y geotécnicos, estas pruebas se efectuar en taladros de perforación y en excavaciones comúnmente denominas calicatas. Existen dos tipos de ensayos de permeabilidad más utilizados que son Ensayo de tipo Lefranc, y el Ensayo de tipo Lugeon, aplicado en macizos rocosos tanto fracturados como no fracturados.

### 2.8.1.- ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

#### 2.8.1.1.- Ensayos de Permeabilidad Tipo Lugeon

Estos ensayos son de tipo geotécnico que se realizan en un sondeo o perforación (ensayo IN SITU) donde se introduce agua a presión para posteriormente tomar valores de K (coeficiente de permeabilidad).

Estas pruebas de permeabilidad son denominadas también pruebas de conductividad hidráulica, generalmente se realiza en los estudios finales de una construcción esto con la finalidad de evaluar pérdidas o filtraciones de agua una vez llenada el embalse en una represa.

La unidad con la que se mide la permeabilidad es de centímetros por segundo [cm/s], para mostrar resultados finales de los ensayos se utiliza la unidad denominada Lugeon, que equivale a un litro por metro por bar de presión ensayada a una presión de 10 bar.

$$1.3 \times 10^{-5} \left[ \frac{cm}{s} \right] = 1 \text{ lugeon}$$

(Littejohn, 1992), sugiere lo siguiente:

- Para rocas débiles o suaves presiones de 2,4,6,4,2 bares
- Para rocas débiles o suaves presiones de 10,20,40,20,10 bares

El tiempo de inyecctado debe durar entre 5 a 10 minutos cada intervalo; y el tramo ensayado debe realizarse entre 3 y 5 m de profundidad.

(Ewert, 2003), usando datos de experiencias y haciendo un análisis comparativo presenta algunas correlaciones del valor Lugeon (Lu) y la posibilidad de inyección en la roca:

- ✓ Valores entre menores a 1 – 5 Lu indican que la roca **No necesita ser inyectada.**
- ✓ Valores entre 5 a 10 Lu indican roca necita tener un inyectado **moderado.**
- ✓ Valores mayores a 10 Lu indican roca necesita ser tratada o **Inyectada.**

#### **2.8.1.2.- Ensayos de Permeabilidad Tipo Lefranc**

Los ensayos Lefranc son utilizados para determinar la permeabilidad del suelo esto cuando el tramo de ensayo está por encima del nivel freático. Excepcionalmente, estas pruebas se practican en taladros realizados en macizos rocosos, cuando se encuentran fracturados y/o alterados.

### ➤ **Lefranc de Carga Constante**

Reciben ese nombre de carga constante porque durante el ensayo el agua suministrada en el taladro se debe mantener constante en el taladro o sondaje para luego proceder con la toman de lecturas mediante un equipo denominado caudalimetro, esto en lapsos de un minuto durante 10 minutos.

Los resultados obtenidos se promedian y con los datos de profundidad del taladro y diámetro de perforación se hacen los cálculos de permeabilidad.

### **Procedimiento de Prueba**

Se suministra agua a través de bomba al aladro de perforación con la finalidad de mantener constante el agua, el agua sube a lo largo del taladro, se regula la bomba hasta tener el caudal de salida igual al caudal de absorción del terreno de prueba es en ese momento que se alcanza un nivel constante y consecuentemente un consumo constante de agua.

Se puede mantener el nivel constante a través de válvulas de suministro de agua al taladro y de descarga. Una vez conseguida la estabilidad del nivel se agua, se calcula el caudal de agua que ingresa a través del bulbo de ensayo (caudalimetro), por diferencia de lecturas, en cada minuto transcurrido se realizan lecturas durante diez minutos y el caudal será el promedio de estas diez lecturas.

### ➤ **Lefranc de Carga Variable**

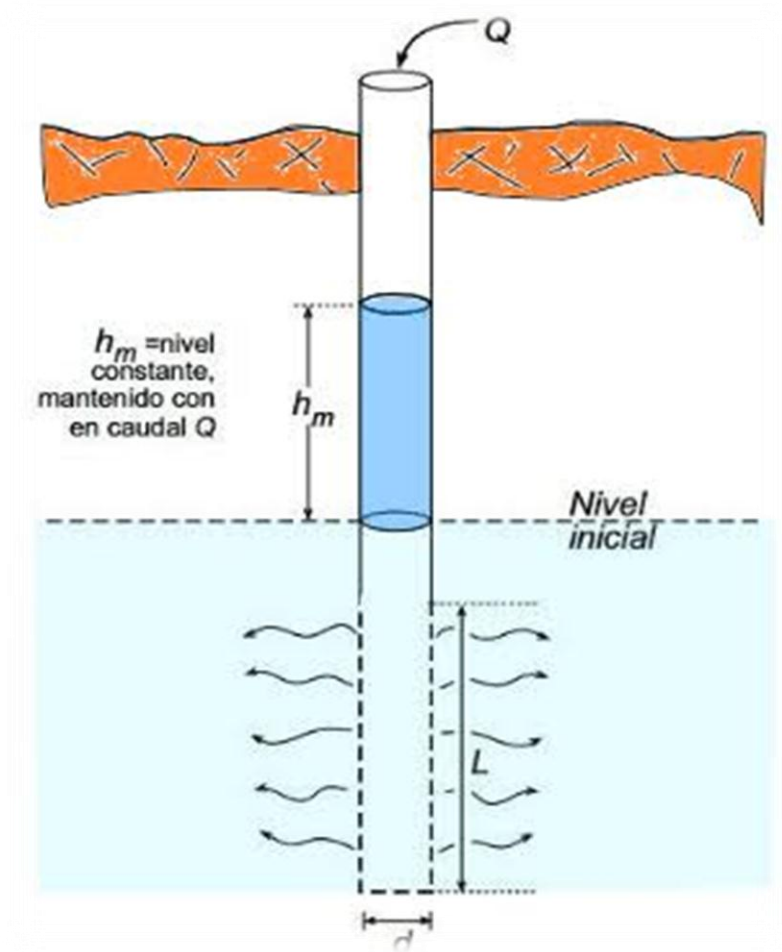
Consiste en realizar taladros mediante perforaciones esto a una profundidad designada, de acuerdo a las propiedades geológicas de la roca y el criterio del especialista, posteriormente llenar el taladro de perforación con agua limpia, y monitorear la velocidad de descenso con la que desciende el agua en el sondaje de perforación, se realizan también mediciones del descenso de agua tomando la lectura de los tiempos y descensos en un lapso de una hora. Si el tramo de prueba está por encima del nivel freático, se deberá añadir la cantidad suficiente de agua al sondaje de perforación para saturar el tramo de prueba antes de realizar la prueba esto con la finalidad de evitar absorciones dentro de la calicata o taladro a realizar la prueba.

El ensayo Lefranc de carga variable el procedimiento de la toma de lecturas en el ensayo se procede como sigue:

- Se realiza el llenado del taladro con agua con la finalidad de saturar las fisuras existentes, se espera que el agua se estabilice una vez estable se procede a tomar valores del descenso de agua de acuerdo al criterio del especialista esto durante un lapso de una hora. Finalmente se procede al cálculo de la permeabilidad existente en la prueba.



IMAGEN N° 2.6 Ensayo tipo Lefranc (carga variable)



Fuente: *Dam Foundation Grouting, revised and expanded ed. ASCE press*

### **CAPITULO III**

#### **AMBITO DE ESTUDIO Y METOLOGIA**

##### **3.1.- UBICACIÓN**

La minera Las Bambas se encuentra a 75 Km al Sur oeste de la ciudad imperial del Cusco, básicamente ubicado en dos provincias alto andinas, en los distritos de Challhuahuacho y Coyllurqui que pertenecen a la jurisdicción de la provincia de Cotabambas y parte del distrito Progreso de la Provincia de Grau en el departamento de Apurímac. Los desniveles dentro del proyecto varían desde los 3700 hasta los 4650 msnm.

Está ubicada en el sector norte del cuadrángulo de Santo Tomás (29-r) de la carta geológica nacional. Existen 4 concesiones mineras que suman un total de 1800ha las cuales son:

✓ Concesión Ferrobamba.....	400 ha
✓ Concesión Chalcobamba.....	600 ha
✓ Concesión Sulfobamba .....	400 ha
✓ Concesión Charcas .....	400 ha

Toda la concesión minera de las bambas esta por las siguientes coordenadas:

*CUADRO N° 3.1: coordenadas de la MINERA LAS BAMBAS*

PUNTO	NORTE	ESTE
P1	8 438 500	796 000
P2	8 438 500	794 000
P3	8 440 500	791 000
P4	8 441 700	790 000
P5	8 440 500	789 000
P6	8 440 500	7 89 000
P7	8 440 500	778 000
P8	8 446 500	778 000
P9	8 446 500	792 000
P10	8 443 500	792 000
P11	8 443 500	796 000

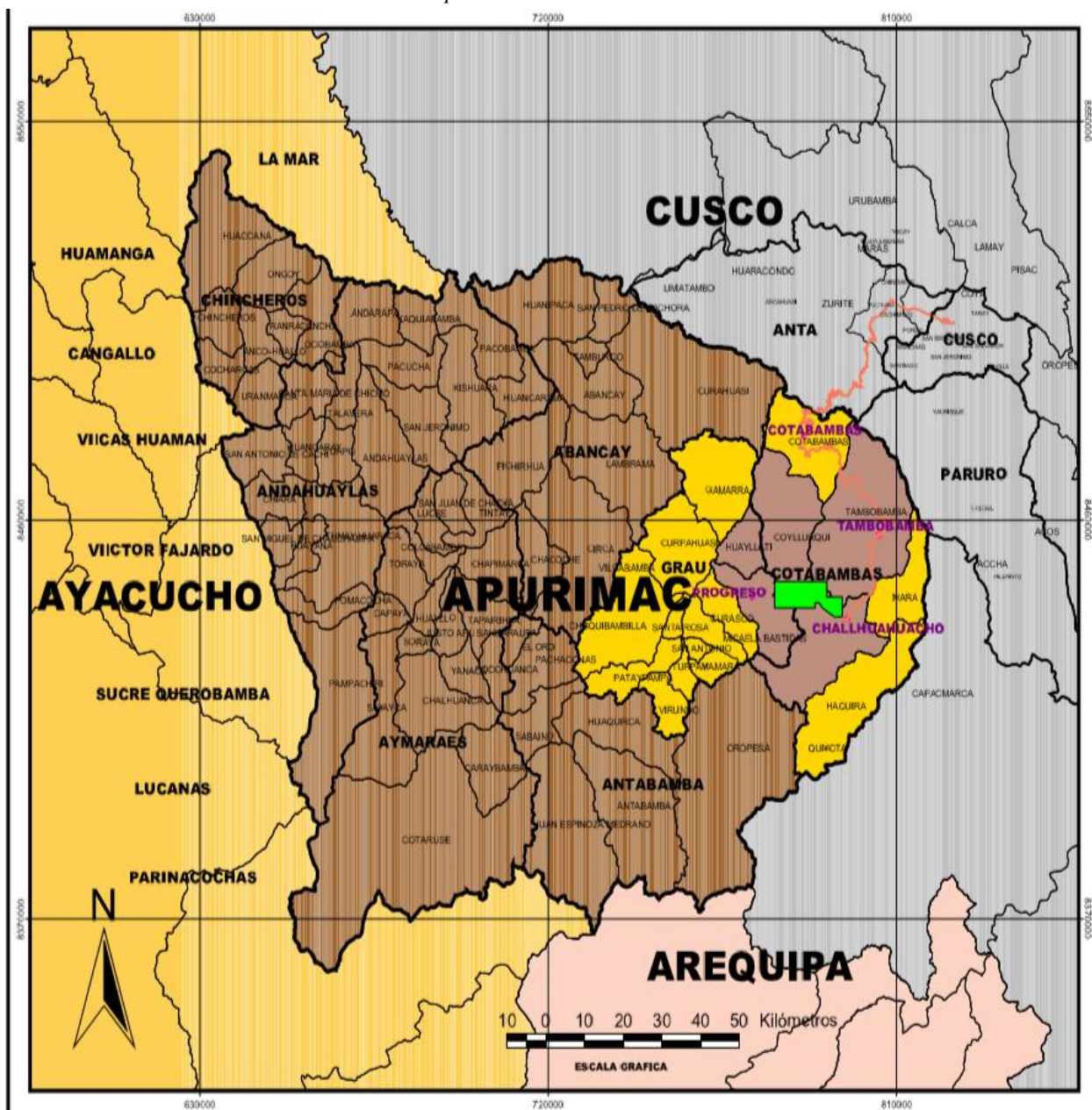
*Fuente: EIA las BAMBAS.*

### **3.2.- ACCESIBILIDAD**

- ✓ Cusco – Yaurisque – Pacarictambo – Ccoyabamba – Ccapacmarca – Mara – Challhuahuacho – Las Bambas, la carretera consta aproximadamente de 240 km aproximadamente, esta vía es afirmada. Esta ruta es la que se emplea actualmente como oficial.
- ✓ Cusco – Anta – Cotabambas – Tambobamba – Challhuahuacho - Las Bambas, asfaltada de tipo bicapa de 250 km aproximadamente.

La distancia a partir de la ciudad del Cusco hasta la zona de estudio que es la represa ANCASCCOCHA, es de 225 Km, con un tiempo de recorrido de 6 horas empleando para la movilización camioneta.

IMAGEN N° 3.1: Mapa de ubicación minera LAS BAMBAS



Fuente: EIA las BAMBAS

### **3.3. \_GEOLOGIA:**

#### **3.3.1.- GEOLOGÍA REGIONAL.**

##### **3.3.1.1.-Formación Soraya**

Es la formación más antigua del distrito, encontrándose las mejores exposiciones al O y SO del área del proyecto. Litológicamente se compone de areniscas cuarzosas blancas y rojizas, de grano fino a medio, cemento silíceo y con laminaciones horizontales, siendo muy raras las estratificaciones cruzadas. Los blancos son de medianos a gruesos (mayores a 1 m), compactos y macizos, formando relieves topográficos competentes, que resaltan a gran distancia.

Se presenta intercalada con lodolitas marrones a rojizas, especialmente en la porción superior de la secuencia, como es el caso de la parte S del distrito. Aunque la potencia total de la Formación Soraya bordea los 600 m, en el área del proyecto se han reconocido unos 300 m de esta formación.

El cambio de las areniscas cuarzosas puras a intercalaciones de areniscas cuarzosas con lodolitas indica una transición de un ambiente de alta energía, cercano a la costa, a un entorno más distal de aguas profundas, que corresponde a la Formación Mara, con la cual presenta un contacto concordante y transicional, en ciertos sectores.

##### **3.3.1.2.-Formación Mara**

Su localidad típica está en el paraje de Mara (20 km al E del Proyecto Las Bambas), donde constituye el núcleo de un anticlinal. Aflora indistintamente dentro del área del proyecto. Está compuesta de limoarcillitas con intercalaciones de areniscas rojizas y limoarcillitas calcáreas, de colores negro, gris, marrón y rojizo. Localmente se observan algunas intercalaciones de areniscas cuarzosas y arcosas. La laminación sedimentaria es con frecuencia horizontal y localmente se observa laminaciones cruzadas.

La Formación Mara ha sido reconocida en afloramientos al S y SE del proyecto donde presenta grosores de hasta 200 m. Es raro encontrar evidencias de metamorfismo en las rocas de esta formación.

#### **3.3.1.3.-Formación Ferrobamba**

Es la unidad sedimentaria de mayor extensión y espesor en el proyecto. Aflora extensamente dentro del área del proyecto Las Bambas.

La Formación Ferrobamba puede diferenciarse en dos miembros de acuerdo a sus diferencias litológicas: la secuencia inferior consiste en bancos gruesos de calizas tipo *mudstone* de color gris a negro. La segunda secuencia consiste en calizas grises y negruzcas con presencia de nódulos de chert, intercaladas con niveles pelíticos calcáreos grises. Presenta grosores de hasta 300 m, habiéndose reportado el mayor espesor de sedimentos entre Cocha y Mara (800 m).

Se encontraron fósiles en otras localidades (Andahuaylas) y se han identificado, entre los principales: *Inoceramus* sp., *Tellina* sp., y *Neithea Texanus* (ROEMER), bivalvos de los períodos Albiano - Cenomaniano. Por consiguiente, se le puede asignar a la Formación Ferrobamba una edad del Albiano Medio-Cenomaniano, y posiblemente llegue al Turoniano.

La Formación Ferrobamba ha sido intruida por cuerpos ígneos mineralizantes, lo que ha dado lugar a la formación de importantes cuerpos de skarn (Cu, Mo).

#### **3.3.1.4.-Volcánicos Vilcarani**

Estos depósitos se exponen al S del área del Proyecto rellenando paleovalles, principalmente sobre el valle del río Challhuahuacho y ríos tributarios. Los Volcánicos Vilcarani cubren en discordancia angular a las calizas de la Formación Ferrobamba.

Litológicamente está conformado por tobas dacíticas e ignimbritas. Su coloración presenta diversos matices del rosado al blanco.

La edad asignada, según comparaciones con otras localidades en la región de Cuzco, es del Pleistoceno.

### **3.3.2.- GEOLOGÍA LOCAL**

#### **3.3.2.1.- Geología local de la represa Ancascococha.**

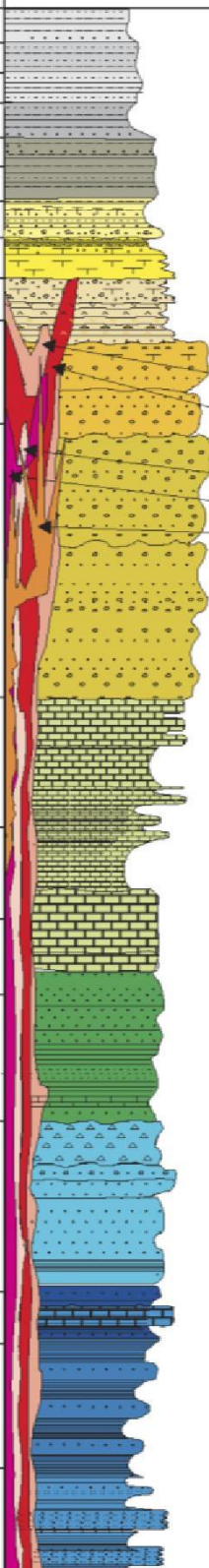
La litología que presenta la zona de estudio de la represa Ancascococha mayormente, está constituido por un solo tipo de roca ígnea intrusiva, identificada como diorita y depósitos cuaternarios. La roca diorita se encuentra fracturada, cuyas fracturas fueron originadas por delineación tectónica regional y por contracción térmica del magma. La edad es del terciario inferior y medio, en menor proporción la litología corresponde a materiales cuaternarios, representados por depósitos coluviales, fluvio-glaciares y lacustres, que se describen a continuación.

- **Estructuras geológicas:** En el área de estudio los principales rasgos estructurales, son el resultado de las últimas fases de la Orogenia Andina, que siguen el alineamiento general del modelo estructural de la Cordillera de los Andes de dirección NO-SE; las estructuras secundarias no siguen este mismo patrón si no, siguen una orientación E-O y NNE-SSO y son de menor magnitud; al noroeste de la zona de estudio atraviesa la falla Record orientado en sentido E-O, que se observa en la zona Huanacopampa.
- **Diorita:** De acuerdo a los resultados del estudio a nivel de expediente del proyecto, la roca que conforma el afloramiento rocoso donde se localiza la represa Ancascococha, fue identificada como roca “*diorita*”, Para mayor seguridad, se examinó la muestra de

roca en la UNSAAC-Cusco (Laboratorio de Petrografía de Ingeniería Geológica), confirmando el resultado de campo, cuya descripción petrográfica se describe de textura granular, roca de color gris, plagioclasa y mineral secundario: biotita; tipo de roca ígneo. Originado por el enfriamiento lento en profundidad del magma.



Cuadro N° 3.2: Columna estratigráfica regional de la zona de estudio

Eratemala	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica		Grosor (m)	Litología	Descripción
CENOZOICA	CUATERNARIO	Holoceno	Dep. Fluvial				Arenas finas, limos y cantos rodados
			Dep. Bofedal				Suelos organicos con limos y arenas finas.
			Dep. Aluvial				Gravas, arenas redondeadas con buena clasificación
		Pleistoceno	Dep. Coluvial				Material fragmentario, heterogéneos en forma y tamaño
			Dep. Fluvioglacial				Matriz de arcillas, limos, arenas no consolidadas con fragmentos subredondeados.
			Dep. de Morrenas				Till sin estratificación, y bloques subangulosos.
	NEÓGENO	Plioceno	Grupo Barroso	C. V. Vilcarani	20-300	Secuencias piroclásticas intercaladas con tobas lapillis y retrabajados.	
				C. V. Malmanya	300	Tobas de cristales y matriz vítrea, Pg, bi, qz..	
		Mioceno	Fm. Alapabamba		200	Secuencia piroclástica estratificada de tobas lapillis, mayormente retrabajadas (Bloques y Ceniza)	
			Gpo. Tacaza		300	Disc. ang.	
	PALEÓGENO	Oligoceno	Gpo. Puno			600	Unidad Plutónica Haquira
							Unidad Plutónica Lljajua
							Unidad Plutónica Progreso
							Unidad Plutónica Colquemarca
Eoceno					Unidad Subvolcánica Safiayca		
	Paleoceno					Areniscas cuarzo feldespáticas brunas con niveles Conglomerádicos grano medio.	
MESOZOICA		CRETÁCEO	Superior	Formación Arcuquina	Arcuquina 3	200	Caliza micríticas masivas en estratos gruesos
	Arcuquina 2				400	Calizamicríticas intercalada con niveles pelíticos y estratos delgados de caliza	
	Arcuquina 1				100	Calizas masivas en estratos métricos	
	Inferior		Formación Murco		300	Areniscas arcóscicas de grano medio a fino, areniscas finas en capas y delgados niveles de limo arcillitas rojas	
PALEOZOICA	JURÁSICO	Superior	Grupo Yura	Formación Huahuani	700	Disc. ang. Areniscas blancas cuarzosas de matriz madura de grano medio a grueso en estratos métricos a submétricos.	
				Formación Gramadal	50-100	Intercalación de arenisca, lutitas y escasos niveles delgados de caliza.	
				Formación Labra	500	Arenas cuarzo feldespáticas en estrato milimétricos intercalado con esporádicos niveles de caliza y lutitas.	
				Formación Cachios	200	Intercalación de limoareniscas con lutitas carbonosas y niveles de arenisca de grano fino.	
		Medio					

FUENTE: Estudio geológico AITOR I.C. (HOJA 29R, INGEMMET).

### **3.4.- MINERIA (OPERACIONES MINERAS)**

#### **3.4.1.- PERFORACION.**

La perforación viene a ser una de las operaciones más sobresalientes dentro de la actividad minera. Sea cual sea el método a usar la perforación se basa en el mismo principio. Es decir, la percusión y la revolución continua del barreno, de tal manera que con el giro se ocasiona un corte y su posterior trituración de la roca.

El resultado final de una perforación será la generación de un taladro, cuyo diámetro será igual al diámetro máximo del filo cortante o el diámetro del barreno. Su propósito es abrir en la roca o mineral huecos cilíndricos llamados taladros. Estos están destinados a alojar o colocar explosivo y sus accesorios en su interior.

Los taladros se realizan con la finalidad de arrancar la cantidad máxima de roca o mineral situando esto mediante una carga de explosivo en el lugar apropiado (en este caso el taladro). La finalidad es lograr el objetivo con el mínimo de explosivos que se pueda.

##### **3.4.1.1.- Equipos de perforación**

La perforación en Las Bambas, se realiza con ocho (8) perforadas primarias, 5 de ellas Eléctricas de la marca P&H y CAT y 3 Diésel de la marca P&H y Atlas Copco, que son utilizadas para realizar la perforación primaria, con una velocidad de perforación de 65 m/hra, un diámetro de broca 12 ¼” y una rotación de 90 RPM en promedio. Para perforaciones secundarias se cuenta con dos (2) perforadoras, marca SANDVIK (DR 560) de 5” de diámetro de broca

*TABLA N°3.1: Equipos de perforación*

N°	CODIGO	MARCA	MODELO	SISTEMA	ø TALADRO (pulg.)
1	TD - 01	P & H	250 XP - ST	DIESEL	12¼
2	TD - 02	P & H	250 XPC	DIESEL	12¼
3	TD - 03	P & H	320 XP - ST	ELECTRICA	12¼
4	TD - 04	P & H	320 XPC	ELECTRICA	12¼
5	TD - 05	CATERPILLAR	6640 MD	ELECTRICA	12¼
6	TD - 06	CATERPILLAR	6640 MD	ELECTRICA	12¼
7	TD - 07	CATERPILLAR	6640 MD	ELECTRICA	12¼
8	TD - 09	ATLAS COPCO	6640 MD	DIESEL	12¼
9	TD - 11	SANDVIK	DR 560	DIESEL	5
10	TD - 12	SANDVIK	DR 560	DIESEL	5

*Fuente: Elaboración en base de datos de la empresa MMG*

*IMAGEN N° 3.2: Equipo de perforación eléctrica marca P&H 320XPC*



*FUENTE: Archivo personal*

### **3.4.2.-VOLADURA**

Voladura es la acción de romper o fragmentar la roca, mediante el empleo de otros agentes como los explosivos. Las mismas que se realizan para lograr un objetivo predeterminado el de fragmentar el macizo rocoso, pueden ser controladas, se puede realizar voladuras a cielo abierto, en galerías, en túneles o también debajo del agua.

### **Verificación de la voladura**

En esta etapa el supervisor verifica los posibles que con la finalidad de prevenir accidentes al momento del carguío de material y que la granulometría del material sea lo planeado.

*IMAGEN N° 3.3: voladura*



*FUENTE: Archivo personal*

### **3.4.3.- CARGUÍO**

El objetivo del carguío es cargar de forma eficiente y segura el material disparado desde el frente de carguío en camiones, con la finalidad de generar los espacios suficientes para la nueva perforación y voladura. Dependiendo del tipo de diseño que se emplee, los requerimientos de productividad y eficiencia y las condiciones operacionales que se empleen. Los equipos más utilizados en la minera las BAMBAS para realizar el Carguío son los siguientes:



- ✓ 01 cargador Frontal Letourneau L2350
- ✓ 01 cargador Frontal CAT 994C 95
- ✓ 03 Palas CAT 6060 FS
- ✓ 02 Palas CAT 7495 HR
- ✓ 02 Palas P&H 4100 XPC

*IMAGEN N° 3.4: CARGUIO (cargador Letourneau al camión KOMAT'SU 930E)*



*FUENTE: Archivo personal*

#### **3.4.4- ACARREO**

El objetivo principal es el de retirar el material volado y transportarlo hacia los puntos de descarga (chancadora, botadero, stock) para cumplir con los requerimientos de desarrollo y producción de la operación.

### **3.4.5.- SERVICIOS AUXILIARES**

#### **a. Construcción y drenaje en pistas mineras**

Dentro de las actividades frecuentes en una explotación minera como es el de las Bambas se encuentra una serie de actividades que también son muy importantes para el ciclo de la operación.

Las principales actividades que se realizan en la minera Las Bambas son:

- ✓ Mantenimiento y limpieza de vías, accesos.
- ✓ Mantenimiento de los botaderos y conformación de cunetas.
- ✓ Conformación de bermas en las vías de acceso y botaderos.
- ✓ Construcción de rampas temporales.
- ✓ Regado de las vías de tránsito.
- ✓ Colocación y Reubicación de Señalizaciones en Mina.

*IMAGEN N° 3.5: Mantenimiento de vías*



*FUENTE: Archivo personal.*

#### **b. REGADO DE VIAS**

El agua fresca es captada a partir del río Challhuahuacho (175 L/s) y se usa un reservorio de agua fresca (Chuspiri - 2,5MM m<sup>3</sup>) como respaldo durante la temporada seca, a partir de esta se distribuyen en Camiones cisterna KOMATSU HD 1500 de 30000 galones para su regado correspondiente.

### **3.5.-DESCRIPCION DE LA REPRESA ANCASCCOCHA**

#### **3.5.1.- ASPECTOS GENERALES**

La REPRESA ANCASCCOCHA se ubica al Noroeste de la concesión minera LAS BAMBAS, Para su elección de este tipo de represa se ha tomado en cuenta los factores que



afectan la determinación del tipo de cortina. Para el propósito de esta elección se considera los datos para diseño.

Los factores que con mayor importancia en la determinación del tipo de represa son los siguientes:

- Condiciones del sitio
- Factores Hidráulicos
- Condiciones de Transpirabilidad o accesibilidad
- Condiciones climáticas.

### **3.5.2.- ESTUDIOS BASICOS**

#### **a. Topografía**

Para el estudio de la capacidad de almacenamiento del vaso y el diseño de la presa se tuvo como información base el levantamiento topográfico proporcionado, a escala 1:2000, en el que se incluyen puntos de control para efectos de replanteo. (VER LAMINA AU-01)

*IMAGEN N°3.6: Fotografía de la laguna ANCCASCCOCHA*



*FUENTE: Archivo personal*

### **3.5.2.- CONCEPCIÓN DE LOS COMPONENTES Y OBRAS CONEXAS DEL REPRESAMIENTO**

Para los diseños se toma en cuenta los siguientes aspectos para las presas en general:

- Volumen Aprovechable (Útil) y Almacenamiento
- Arrastre de sólidos (Carga de Fondo y Suspensión).
- Altura de represamiento

- Bordo libre y Ancho de Corona
- Diseño de la máxima avenida
- Obras complementarias

### **3.5.3.- CARACTERÍSTICAS DE LA REPRESA.**

#### **3.5.3.1.- Características Geotécnicas de la cimentación.**

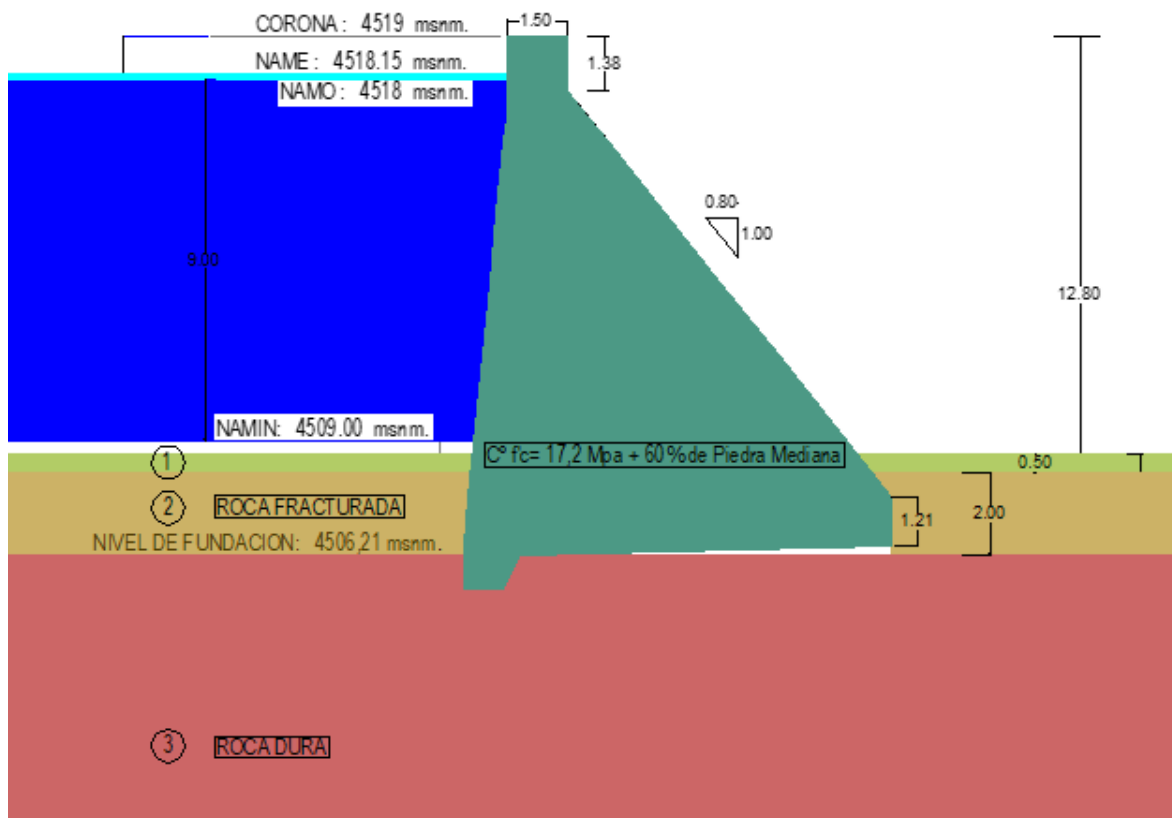
- ✓ Roca Diorita: resistencia a la compresión simple M. Derecha 30,8 MPa
- ✓ Permeabilidad método del nivel variable de JIMÉNEZ SALAS (1981)
  - Baja [ $K = 1.135 \times 10^{-6}$ -  $5.321 \times 10^{-9}$ ]
  - Nivel de cimentación mínimo = - 2,00 m (recomendado según estudio geotécnico)
- ✓ Angulo de Fricción Interna =  $29^\circ$  (Roca levemente fracturada)
- ✓ Cohesión C = 235 KPa (Roca Levemente fracturada)

#### **3.5.3.2.- Características de la represa:**

- a.- Cuerpo de presa: Conformado por  $C^\circ$   $f^\circ c = 175 \text{ Kg/cm}^2 + 60 \% \text{ PM.}$ , con las siguientes características:
  - ✓ Peso Unitario concreto = 2,40 t/m<sup>3</sup>
- b. Roca:
  - ✓ Tipo de roca: DIORITA
  - ✓ Dureza 6.5 en Escala de MOHS
  - ✓ Peso específico de la roca: 2.54 gr/cm<sup>3</sup>
- c. Interface Roca – Presa:

- ✓ Fricción entre roca y Presa = 0.75
- d. Sedimentos: Corresponde al material acumulado en la cara aguas arriba de la presa.
- ✓ Peso saturado = 1,63 t / m<sup>2</sup>
- ✓ Angulo de fricción = 26°
- ✓ Cohesión = 0 t / m<sup>2</sup>

*IMAGEN N°3.8: Niveles básicos considerados en la represa.*



*FUENTE: diseño estructural (AITOR I.C.) MMG LAS BAMBAS.*

### 3.5.3.3.- DESCRIPCION DE LA REPRESA ANCASCCOCHA.

CUADRO N°3.4: Descripción de la represa Ancascococha

DESCRIPCION / CARACTERISTICAS	Und	Ancascococha
Material del Cuerpo de la Presa		Gravedad Mamposteria
Volumen de Almacenamiento	m³	630,000
Volumen Util o Neto	m³	510,000
Perdidas por Evaporacion y Filtracion	m³	120,000
Cota de coronamiento	msnm	4503.75
Cota de embalse NAMO (Nivel de Aguas maximas Ordinarias)	msnm	4502.75
Cota de embalse NAME (nivel de Aguas Maximas Extraordinarias)	msnm	4502.90
Cota de embalse NAMIN(Nivel de Aguas Minimas)	msnm	4494.25
Cota Terreno	msnm	4494.00
Cota de fundación (Nivel de Desplante)	msnm	4491.50
Altura de excav. de la cimentación (dentellón)	m	2.50
Altura dentellon : (C/2)	m	0.83
Altura Vol. de Operacion: (H= NAMO-NAMIN)	m	8.50
Bordo Libre (BL)	m	1.00
Altura efectiva de la presa (He=H+BL)	m	9.50
Altura Total de la presa: (HT= He+C)	m	12.25
Longitud de Corona: (Lc)	m	141.50
Ancho de coronamiento: (a)	m	1.10
Talud Espalda Aguas Arriba : (1:n)	1 : n	1 : 0.1
Talud Espalda Aguas Abajo : (1:m)	1 : m	1 : 0.7
Material de cuerpo de la presa		C°C° f'c=175 kg/cm2+ 30%
Longitud Total de la Base: (LB)	m	8.95
Caudal de descarga aproximado (Para máxima demanda)	l/s	50.00
Material de Impermeabilizacion paramento aguas arriba		Pantalla C°S°+Aditivo
Longitud de la Tuberia de descarga	m	11.23
Pendiente de la tuberia de Descarga	m/m	0.01
Caudal Maximo del Aliviadero	m³/s	0.35
Diametro de Tuberia descarga	mm	mas de 200 mm
Valvula de control principal	Pulg	1 Und, de 8"
Valvula para mantenimiento y contingencia	Pulg	1 Und, de 8"

FUENTE: Elaboración en base de datos de la empresa MMG LAS BAMBAS.

### 3.5.4.- HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

#### 3.5.4.1 Climatología

Los principales parámetros climatológicos determinados para la zona del proyecto son

*CUADRO N°3.5: Principales parámetros climatológicos microcuenca laguna Ancascococha*

<i>Variable</i>		<i>Und</i>	<i>ENE</i>	<i>FEB</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAY</i>	<i>JUN</i>	<i>JUL</i>	<i>AGO</i>	<i>SET</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DIC</i>	<i>TOTAL</i>
<i>Precipitación Media Mensual</i>	<i>P</i>	<i>mm</i>	236.59	261.59	193.74	75.76	12.56	3.68	5.21	11.24	26.44	65.02	99.94	200.06	1191.82
<i>Desviación Estandar</i>	<i>D.Est.</i>	<i>mm</i>	76.71	35.77	81.59	26.77	8.61	3.02	6.24	10.61	16.36	36.49	31.94	75.45	
<i>Precipitación al 75% persistencia</i>	<i>P75</i>	<i>mm</i>	184.85	237.464	138.708	57.7039	6.75264	1.64304	1.00118	4.08366	15.4053	40.4079	78.3968	149.17	915.58
<i>Temperatura Media Mensual</i>	<i>Tm</i>	<i>°C</i>	4.66	4.5	4.28	3.62	1.65	-0.22	-0.82	0.4	2.15	3.61	4.3	4.51	
<i>Temperatura Mínima Media Mensual</i>	<i>Tmin</i>	<i>°C</i>	-0.51	-1.43	-1.06	-1.91	-5.55	-8.18	-7.79	-5.13	-2.72	-2.34	-2.19	-1.38	
<i>Temperatura Máxima Media Mensual</i>	<i>Tmax</i>	<i>°C</i>	12.38	12.58	12.54	12.58	13.02	12.61	12.67	13.12	14.1	14.96	14.21	14.63	
<i>Humedad Relativa</i>	<i>Hr</i>	<i>%</i>	68.82	68.78	68.36	65.15	59.62	57.72	55.06	54.69	54.22	55.4	57.52	64.21	
<i>Evaporación Media Mensual</i>	<i>E</i>	<i>mm</i>	27.31	18.43	8.8	22.62	25.72	50.97	39.39	62.91	75.34	59.3	43.06	44.64	478.50
<i>Velocidad de Viento</i>	<i>Vv</i>	<i>m/s</i>	4.17	3.93	3.67	3.23	3.34	4.07	3.7	3.74	4.46	4.02	4.06	4.03	3.87

*FUENTE: Estudio Hidrológico*

#### **3.5.4.2.- Hidrología**

La evaluación realizada al recurso hídrico, consistente en la determinación del escurrimiento superficial en la laguna y de los flujos sub superficiales, han permitido establecer el rendimiento hídrico anual en la cuenca de la laguna Anccascchocha, tomando como base los caudales mensuales generados al 75% de persistencia.

#### **3.5.4.3.- Fuentes de Información**

➤ **INGEMET**

El Instituto Geográfico Nacional es una institución del estado que difunde las cartas geográficas nacionales, el área de estudio se encuentra en la carta 1/ 100,000 29-r (Santo Tomas).

➤ **SENAMHI**

Institución del estado encargado de la recolección de datos climáticos como Precipitaciones, temperaturas máxima, media y mínima, velocidad de viento, humedad relativa, etc. y datos Hidrométricos como caudales medios, máximos y mínimos de algunos ríos importantes del territorio peruano, para el estudio hidrológico se usaron los siguientes datos.

*Cuadro N° 3.3: Estaciones Utilizadas para el Análisis de Precipitación*

O R D E N	DATOS DE ESTACIONES UTILIZADAS EN EL PROYECTO													
	ESTACIÓN	TIPO	Coordenadas Geograficas						Coordenadas UTM		ALTITUD	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
			LATITUD			LONGITUD			Datum 186 WGS 1984, Zona 18S-78°W a 72W					
			°	'	"	°	'	"	X (m)	Y (m)				
1	LA ANGOSTURA	CO-754	15	10	47	71	38	58	860,085.4	8,319,036.6	4,150	Arequipa	Caylloma	Caylloma
2	YAURI	CO-757	14	48	10	71	25	50	885,751.0	8,358,833.1	3,940	Yauri	Espinar	Cusco
3	LIVITACA	PLU-157320	14	19	1	71	41	1	857,819.7	8,414,657.9	3,741	Cusco	Chumbivilcas	Livitaca
4	ANTABAMBA	CO-748	14	22	1	72	23	1	728,229.0	8,410,644.6	3,639	Apurimac	Antabamba	Antabamba
5	TAMBOBAMBA	CO	13	56	42	72	10	30.8	805,227.4	8,456,117.7	3,275	Apurimac	Cotabambas	Tambobamba
6	SANTO TOMAS	CO-752	14	23	56	72	5	15.8	813,971.7	8,406,111.4	3,242	Cusco	Chumbivilcas	Llusco
7	ACOMAYO	CO-687	13	55	18	71	41	2	858,445.9	8,458,962.1	3,237	Cusco	Acomayo	Acomayo
8	PARURO	CO-686	13	46	1	71	50	41	841,234.7	8,475,749.1	3,092	Cusco	Paruro	Paruro
9	CHALHUANCA	CP-747	14	23	27	73	15	5.2	688,530.3	8,408,345.9	2,967	Apurimac	Aymaraes	Chalhuanca
10	CURAHUASI	CO-677	13	33	8	72	44	5	748,731.3	8,500,594.6	2,763	Apurimac	Abancay	Curahuasi

*FUENTE: Estudio Hidrológico*

### 3.6.- OFERTA HIDRICA

Con el fin de calibrar el modelo de generación de caudales, se realizaron aforos de interés en la subcuenca de la laguna Ancascococha.

- El primer circuito de aforos se realizó en mayo 2018.
- la segunda toma en septiembre 2018.

#### 3.6.1.-ESTIMACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA

Las disponibilidades de los recursos hídricos producidos en las áreas de influencia hídrica de la laguna Ancascococha, traducido en esorrentía superficial, han sido estimadas en unidades de caudales y volúmenes medios, así como también al 50%, 75% y 95 % de persistencia, siendo la disponibilidad al 75% de persistencia la más importante, dado que sus valores son considerados para la asignación de derechos de uso de agua.



*Cuadro N° 3.8: Disponibilidad hídrica subcuenta ANCASCCOCHA*

MESES	Q PROMEDIO	Q EXTENDIDO	Q (75%)	V(m3)
Setiembre	1.64	3.64	2.65	6,861.61
Octubre	6.44	9.52	6.22	16,662.57
Noviembre	14.85	19.14	11.36	29,434.57
Diciembre	50.76	49.72	41.8	111,944.26
Enero	89.12	88.61	76.85	205,830.54
Febrero	104.47	99.87	83.55	202,129.52
Marzo	76.14	78.59	62.22	166,656.46
Abril	23.89	24.26	19.6	50,806.43
Mayo	8.72	6.42	5.4	14,468.74
Junio	4.76	2.75	2.45	6,354.82
Julio	2.61	1.82	1.56	4,189.66
Agosto	1.85	2.39	1.55	4,154.39
<b>prom/ tota</b>	32.11	32.23	26.27	819,493.57

*FUENTE: Estudio Hidrológico.*

### **3.6.2.-DEMANDA HÍDRICA EN LA MINERA LAS BAMBAS.**

El equipo de bombeo bombea 175 l/s de agua la cual se realiza mayormente durante los meses de mayo a octubre, para ser almacenado en la represa Chuspiri a partir de allí abastecer a las operaciones requeridas, la demanda de agua anual en la minera LAS BAMBAS será de 430 700 m<sup>3</sup> al año, la mayor parte de esta agua es abastecida del rio Challhuahuacho y chila.

*CUADRO N°3.4: Estimación de consumo de agua*

DESCRIPCION	AÑO EXTREMADAMENTE	PROMEDIO ANUAL
Demanda pico del agua de reposicion para el proceso	480 360 m3/año	300 240 m3/año
Agua potable	30 140 m3/año	30 140 m3/año
Control de polvo en caminos	190 492 m3/año	100 320 m3/año
<b>CONSUMO TOTAL</b>	<b>700, 992 m3/año</b>	<b>430 700 m3/año</b>

*FUENTE: MMG Las Bambas*

- **AÑO EXTREMADAMENTE:** Año extremadamente seco con pocas presencias de lluvias.
- **PROMEDIO ANUAL:** Año con precipitaciones normales.

### **3.6.3.- ALMACENAMIENTO DE LA REPRESA ANCASCCOCHA**

La capacidad de almacenamiento de la represa, ha sido estimada en función a los resultados de la topografía y la batimetría que han sido realizados para la laguna.

La capacidad de almacenamiento de agua para el desarrollo del referido proyecto, en principio será por encima del almacenamiento natural, por lo tanto, la característica de diseño de la capacidad de almacenamiento se calcula considerando la información de la topográfica y batimétrica del vaso de la laguna.

Del resultado de batimetría y topografía realizado, en el vaso natural de la laguna Ancascococha, se ha estimado las capacidades de almacenamiento natural y la capacidad de almacenamiento artificial que potencialmente podrían almacenarse con la construcción de la estructura de almacenamiento.

*CUADRO N° 3.4: Capacidad de Almacenamiento Laguna Ancascococha*

PROF. LAGUN/ALTURA PRESA (m)	CURVA DE NIVEL	SUPERFICIE		SUPERFICIE ACUMULADA	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO	
m.s.n.m.	m.s.n.m.	m²	ha	ha	m³	m³	MMC
0.00	4473	115.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	4474	1,743.57	0.17	0.17	929.32	929.32	0.00
2.00	4475	4,353.40	0.44	0.61	3,048.48	3,977.80	0.00
3.00	4476	7,528.21	0.75	1.36	5,940.81	9,918.61	0.01
4.00	4477	10,157.14	1.02	2.38	8,842.67	18,761.28	0.02
5.00	4478	12,528.76	1.25	3.63	11,342.95	30,104.22	0.03
6.00	4479	14,519.15	1.45	5.08	13,523.95	43,628.18	0.04
7.00	4480	16,078.91	1.61	6.69	15,299.03	58,927.21	0.06
8.00	4481	17,607.28	1.76	8.45	16,843.09	75,770.30	0.08
9.00	4482	19,120.75	1.91	10.36	18,364.01	94,134.32	0.09
10.00	4483	20,622.98	2.06	12.43	19,871.86	114,006.18	0.11
11.00	4484	22,163.95	2.22	14.64	21,393.47	135,399.65	0.14
12.00	4485	23,745.62	2.37	17.02	22,954.79	158,354.43	0.16
13.00	4486	25,235.75	2.52	19.54	24,490.68	182,845.11	0.18
14.00	4487	26,732.66	2.67	22.21	25,984.20	208,829.31	0.21
15.00	4488	28,279.97	2.83	25.04	27,506.31	236,335.63	0.24
16.00	4489	29,882.81	2.99	28.03	29,081.39	265,417.02	0.27
17.00	4490	31,534.49	3.15	31.18	30,708.65	296,125.67	0.30
18.00	4491	33,246.24	3.32	34.51	32,390.37	328,516.03	0.33
19.00	4492	35,021.11	3.50	38.01	34,133.67	362,649.71	0.36
20.00	4493	36,865.59	3.69	41.70	35,943.35	398,593.06	0.40
21.00	4494	38,827.17	3.88	45.58	37,846.38	436,439.44	0.44
<b>21.25</b>	<b>4494.25</b>	<b>40,565.71</b>	<b>4.06</b>	<b>49.64</b>	<b>9,924.11</b>	<b>446,363.55</b>	<b>0.45</b>
22.00	4495	45,781.32	4.58	54.21	32,380.13	478,743.68	0.48
23.00	4496	52,259.92	5.23	59.44	49,020.62	527,764.30	0.53
24.00	4497	58,192.85	5.82	65.26	55,226.39	582,990.69	0.58
25.00	4498	64,822.72	6.48	71.74	61,507.79	644,498.48	0.64
26.00	4499	70,757.98	7.08	78.82	67,790.35	712,288.83	0.71
27.00	4500	75,462.56	7.55	86.36	73,110.27	785,399.10	0.79
28.00	4501	78,131.16	7.81	94.18	76,796.86	862,195.96	0.86
29.00	4502	80,400.85	8.04	102.22	79,266.01	941,461.97	0.94
30.00	4503	82,687.59	8.27	110.49	81,544.22	1,023,006.18	1.02
31.00	4504	85,035.61	8.50	118.99	83,861.60	1,106,867.78	1.11
32.00	4505	87,384.55	8.74	127.73	86,210.08	1,193,077.86	1.19
33.00	4506	89,740.61	8.97	136.70	88,562.58	1,281,640.44	1.28
34.00	4507	92,107.75	9.21	145.91	90,924.18	1,372,564.62	1.37

*FUENTE: Estudio Hidrológico.*

<b>VOLUMEN ÚTIL</b>	510,000.00	m³
NAMO	4,502.18	m.s.n.m.
NAMINO	4,494.25	m.s.n.m.

La capacidad de almacenamiento artificial del embalse de la laguna Ancascococha estimada es de 510,000 m³, potencialmente fluctuaría desde la cota 4,494.25 msnm hasta la cota 4,502.18 msnm.

**NAMIN:** (Nivel de aguas mínimas de operación), es el nivel más bajo al que puede operar la represa. El volumen que queda por debajo de la elevación de la represa de toma y se destina para acumular los sedimentos que arrastra la corriente, a lo largo de la vida útil de la represa se denomina volumen de azolves.

**NAMO:** (Nivel de aguas máximo ordinario), es el nivel más alto que se puede tener en la presa sin que se ponga en riesgo la seguridad de la estructura. En algunas ocasiones coincide con la cresta de la obra de excedencias si se trata de un vertedor con descarga libre; en el caso de que se tengan compuertas el NAMO puede estar por encima de la cresta. El volumen que se encuentra entre el NAMO y el NAMINO se denomina volumen o capacidad útil.

### **3.7.- EVALUACION DE PERMEABILIDAD IN-SITU.**

Las evaluaciones de permeabilidades, fueron efectuadas en eje de la represa (Rocas), dentro de las perforaciones aperturadas y tienen por objeto determinar las características hidráulicas del EJE DE REPRESA, subyacentes al área en estudio.

#### **a.- exploración de campo**

En la zona en estudio se practicaron Cinco (05) perforaciones por parte de la Empresa Consultora. Cuyas características se indican a continuación:

CUADRO N° 3.5: Perforaciones para las pruebas de permeabilidad

DENOMINACION	COTA (msnm)	PROFUNDIDAD (m)
P1D	4520.00	4.00
P2D	4512.00	4.00
PC3	4512.00	5.00
P4I	4512.00	4.00
P5I	4514.00	4.00

FUENTE: Estudio geológico AITOR I.C.

#### b. Ensayos de Permeabilidad In Situ:

**Coefficiente de Permeabilidad (k).** - Es la capacidad de una Roca – Suelo, para permitir las filtraciones del agua, recibiendo el nombre de permeabilidad. El coeficiente de permeabilidad (k) se define como la velocidad de flujo producida por un gradiente o descenso hidráulico, El valor de k se usa como una medida de la resistencia al flujo ofrecida por la roca, y son varios los factores que intervienen. Con la finalidad de determinar las características Hídricas de la roca en la fundación para el Eje de represa, se efectua ensayos de permeabilidad In Situ Método directo, de carga Variable Decreciente, (ASTM, 1898). Este coeficiente se determina de la siguiente manera:

$$K = \frac{\left(\frac{D}{2}\right) * \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)}{2(t_1 - t_2)} \quad (3.1)$$

Donde:

- D es el radio de la perforación en metros.

- $h_1$  y  $h_2$ , son las profundidades consecutivas de los taladros llenados de agua en metros,  $h_1$  la altura de carga al inicio y  $h_2$  la altura de carga al final del intervalo de tiempo.
- $t_2, t_1$ , expresa el intervalo de tiempo entre de las mediciones consecutivas, este tiempo esta expresado en segundos.

### **3.8.- METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

#### **3.8.1.- TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Pertenece al tipo básico no experimental.

El diseño de la investigación es básico no experimental, busca conocer y aplicar el método JET GROUTIG para la efectividad de la impermeabilización de las inyecciones a la problemática de las filtraciones de agua en la fundación de la represa Ancascococha y tener una disponibilidad hídrica adecuada.

#### **3.8.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

El nivel de la investigación es No experimental Descriptivo – correlacional.

Es descriptivo porque se determinó las características de las pruebas observadas en la realidad con detalles, también se utilizó para el estudio los métodos inductivo y deductivo para sistematizar el marco teórico del presente estudio.

### **3.8.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.**

#### **3.8.3.1 Población**

La represa Ancascococha en Minera las Bambas - Apurímac

#### **3.8.3.2.-Muestra**

La represa Ancascococha en Minera las Bambas - Apurímac.

### **3.8.4.-IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS VARIABLES.**

#### **a.- Variable Independiente.**

Implementación del método Jet Grouting.

#### **b.- Variable Dependiente.**

Disponibilidad Hídrica.

### **3.8.5.- TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.**

#### **3.8.5.1 Recopilación Bibliográfica**

El recojo de información ocupa un lugar importante para todo el proceso de la investigación, con la finalidad de garantizar la calidad de los fundamentos teóricos de la investigación.

Dentro de la recopilación bibliográfica se ha considera la indagación sobre las condiciones geológicas y geotécnicas del eje de una represa a nivel regional y local, las condiciones geomecanicas y su caracterización geotécnica principalmente son parámetros

de clasificación geomecánica RMR en el eje de la represa, los perfiles geológicos - geotécnicos y las condiciones hidrogeológicas encontradas durante las exploraciones diamantinas efectuadas para el Estudio Definitivo y elaboración del Expediente Técnico, elaborado por AITOR I.C.

### **3.8.5.2 Trabajos de Campo**

Se consideran trabajos de campo a la duración de tiempo que se desarrolló la prueba Geomecánica, geotécnica, diseño de mezcla e inyectado, el mismo que fue ejecutado por la misma empresa consultora

El tratamiento geotécnico mediante las inyecciones de lechada es un proceso con la finalidad de incrementar la capacidad portante, para este proyecto se aplicará el método JET GROUTING (inyecciones de lechada).

En el trabajo de campo realizado se realizaron diversas actividades:

- ✓ Perforaciones o sondajes.
- ✓ Levantamientos topográficos.
- ✓ Pruebas de permeabilidad del tipo LEFRANC.
- ✓ Pruebas de laboratorio para el tratamiento.
- ✓ Elaboración de Perfiles para la comparación e interpretación de resultados.
- ✓ pruebas de mezcla de lechada.
- ✓ Prueba de Inyección de lechada.



### **3.8.6.- DATOS.**

Los instrumentos serán

- ✓ Datos de campo (IN SITU)
- ✓ La permeabilidad y su comportamiento geomecánico de la matriz rocosa. (Grado de filtración del agua, características geomecánicas de la roca.
- ✓ Datos de GSI y RQD de la zona de sostenimiento
- ✓ la geomorfología. (Precipitación anual, consumo de agua, área de cuenca).

|

## **CAPITULO IV**

### **APLICACIÓN DEL JET GROUTING Y DISPONIBILIDAD HIDRICA DE LA REPRESA ANCASCCOCHA**

#### **4.1.-GENERALIDADES**

Las inyecciones de lechadas de cemento utilizando el método de Jet Grouting es una de las técnicas empleadas para el mejoramiento y su impermeabilización adecuada del macizo rocoso, este proceso se realiza mediante bombeos de lechada a base de una mezcla compuesta por agua, cemento y aditivos, previamente se define la zona y la profundidad a tratar en la cual inicialmente se genera perforaciones que a través de ellas la mezcla o lechada se bombea a determinadas presiones dependiendo de las condiciones geológicas del medio. Para finalmente impermeabilizar la zona requerida para el proyecto.

La impermeabilización en la represa Ancascococha contempla como principal proceso la ejecución del método jet Grouting (inyecciones de lechada), determinando el diseño de mezcla adecuado, y según los parámetros geomecánicos del eje de la represa se determina la pantalla de impermeabilización, la distancia de los taladros a inyectar, posteriormente se volverá a realizar los taladros de verificación y en ellas las pruebas de impermeabilización para ser comparadas con los datos de permeabilidad iniciales.

#### **4.2.- ELECCION DEL METODO JET GROUTING INYECCIONES EN LA REPRESA**

Con este método de JET GRUTING se inicia la inyección con una única mezcla estable en este caso lechada de cemento, moderadamente espesa de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, utilizando cemento lo suficientemente fino para penetrar con mayor facilidad las juntas y fisuras existentes en la matriz rocosa; utilizando una sola dosificación se obtiene la cortina de inyección con características técnica homogéneas y de mayor calidad de esta manera incrementando y asegurando la vida útil del tratamiento.

Tomando en consideración las propiedades geológicas y geotecnias del eje de la represa a construir se toma valores adecuados de mezcla y posteriormente presión para tener una adecuada inyección.

Para dicha ejecución se opta por el método jet Grouting, debido a que las pruebas se realizan en taladros de menor diámetro y a alta presión. Con este método se puede realizar cortinas de varias etapas dependiendo de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso.

**Las características básicas del método GIN son las siguientes:**

- se utiliza una sola mezcla de inyectado para proceso generalmente se usa la relación de agua vs la relación de cemento que viene a ser dado por 0.67 a 0.8:1 a esto se puede añadir aditivos, para incrementar la penetrabilidad y su fraguado acelerado.
- Una velocidad usada es constante de baja a mediana a una presión que se incrementa gradualmente, conforme la lechada penetra más dentro de las fracturas de la roca.
- Las lechadas de inyección no pueden llevar bentonita esto debido a su alta densidad que evite la decantación.
- Para minimizar el riesgo de hidrofracturación, se tiene que inyectar en un valor constante de presión y volumen, limitado por la hipérbola  $P \cdot V = \text{cte}$

Donde:

P: Presion

V: Volumen

**Las ventajas del método GIN son:**

- Simplificar el procedimiento de la inyección al utilizar una mezcla única.

- Se puede realizar varias cortinas de inyección en tramos cortos sin generar hidrofracturamiento.
- Realizar la inyección en etapas independientemente de acuerdo a la calidad de la roca.
- obtener datos coherentes, que permite evaluar el progreso, así como el resultado alcanzado de la impermeabilización.
- Genera menores costos en comparación con otros metodos

#### 4.3.-CARACTERISTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LA REPRESA ANCASCCOCHA

En base a investigaciones geológicas de campo y de acuerdo al estudio geofísico y pruebas de refracción sísmica.

*CUADRO N°4.1: Descripción de los ensayos de Refracción Sísmica*

LINEA	DESCRIPCION DE MATERIALES	VELOCIDAD DE COMPRESION (vp)	ESPESOR(m)
Ls- 01	Deposto cuaternario (dpositos aluviales y residuales)	$V_p < 1500 \text{ m/s}$	0 a 2.5
	Roca muy fracturada	$1500\text{m/s} < V_p < 3000\text{m/s}$	5 a 8
	Roca levemente fracturada	$V_p > 3000 \text{ m/s}$	?
Ls- 02	Deposto cuaternario (dpositos aluviales y residuales)	$V_p < 1500 \text{ m/s}$	0 a 0.5
	Roca muy fracturada	$1500\text{m/s} < V_p < 3000\text{m/s}$	1 a 2.5
	Roca levemente fracturada	$V_p > 3000 \text{ m/s}$	?

*Fuente: Estudio Geofísico de Sondaje Eléctrico vertical SEV y Refracción Sísmica – Presa*

Los resultados en las dos líneas de refracción sísmica LS01, muestra rocas muy fracturadas con valores de  $V_p$  entre  $1500 \text{ m/s} < V_p < 3000 \text{ m/s}$ , entre 5.0-8.0 m de

profundidad y rocas levemente fracturadas con  $V_p > 3000$  m/s sin espesor determinado. La LS02, muestra roca muy fracturada con valores de  $V_p$   $1500 \text{ m/s} < V_p < 3000 \text{ m/s}$ , entre 1 a 2.5 m de profundidad; y rocas levemente fracturadas con valor de  $V_p > 3000$  m/s, sin espesor determinado.

Las velocidades de  $V_p$ , se encuentran dentro del rango para roca ígnea cristalina como la diorita, los grosores de los materiales geológicos no se aproximan a los establecidos en los Piques. Los valores de las Líneas de Sismicidad se muestran en el Cuadro 4.1, son los que corresponde a la zona de estudio. La zona donde se emplaza el eje de la presa muestra homogeneidad en cuanto a la disposición de los horizontes, y sólo se muestran una capa superficial de depósito cuaternario y rocas fracturadas.

En el horizonte superior de espesor 0 a 0.5m se tienen depósitos cuaternarios, estos depósitos están presentes en la línea donde se realizó el ensayo de refracción; sin embargo, hacia el eje de la presa estos depósitos cuaternarios disminuyen, aflorando la roca en la superficie, principalmente en el estribo izquierdo.

El segundo horizonte, considerando la línea LS-02, tiene un espesor entre 1 a 2.5 m, de roca muy fracturada (RQD: 58.9% a 62.2%), estas fracturas tienen una orientación preferente NNO-SSE.

El tercer horizonte, que están por debajo de los 2.5 m., corresponde a rocas levemente fracturadas.

Los resultados de los ensayos de compresión simple, para muestras de roca de ambos márgenes de la boquilla, muestran los siguientes resultados.

Resistencia a la compresión:

- ✓ Margen Derecha: 30.81 Mpa = 301,94Kg/cm<sup>2</sup> (Asumido)
- ✓ Margen Izquierda: 72.74Mpa = 712,85Kg/cm<sup>2</sup>

#### **4.4. ENSAYOS DE CAMPO (GEOTECNIA)**

##### **a. Ensayo de permeabilidad in situ**

- **Coefficiente de Permeabilidad (k).** - Es la capacidad de una Roca, para permitir que el agua atraviese a través de sus juntas y fisuras existentes en roca intacta la cual recibe el nombre de permeabilidad. El coeficiente de permeabilidad (k) se define como la velocidad de flujo producida por un gradiente hidráulico, El valor de k se usa como una medida de la resistencia al flujo ofrecida por la roca, y son varios los factores que intervienen.

Con la finalidad de determinar las características Hídricas del suelo de fundación para el Eje de presa, se efectúan ensayos de permeabilidad In Situ Método directo, de carga Variable Decreciente, Norma: ASTM D 4043, dentro de las calicatas aperturadas.

**b.- Procedimiento:**

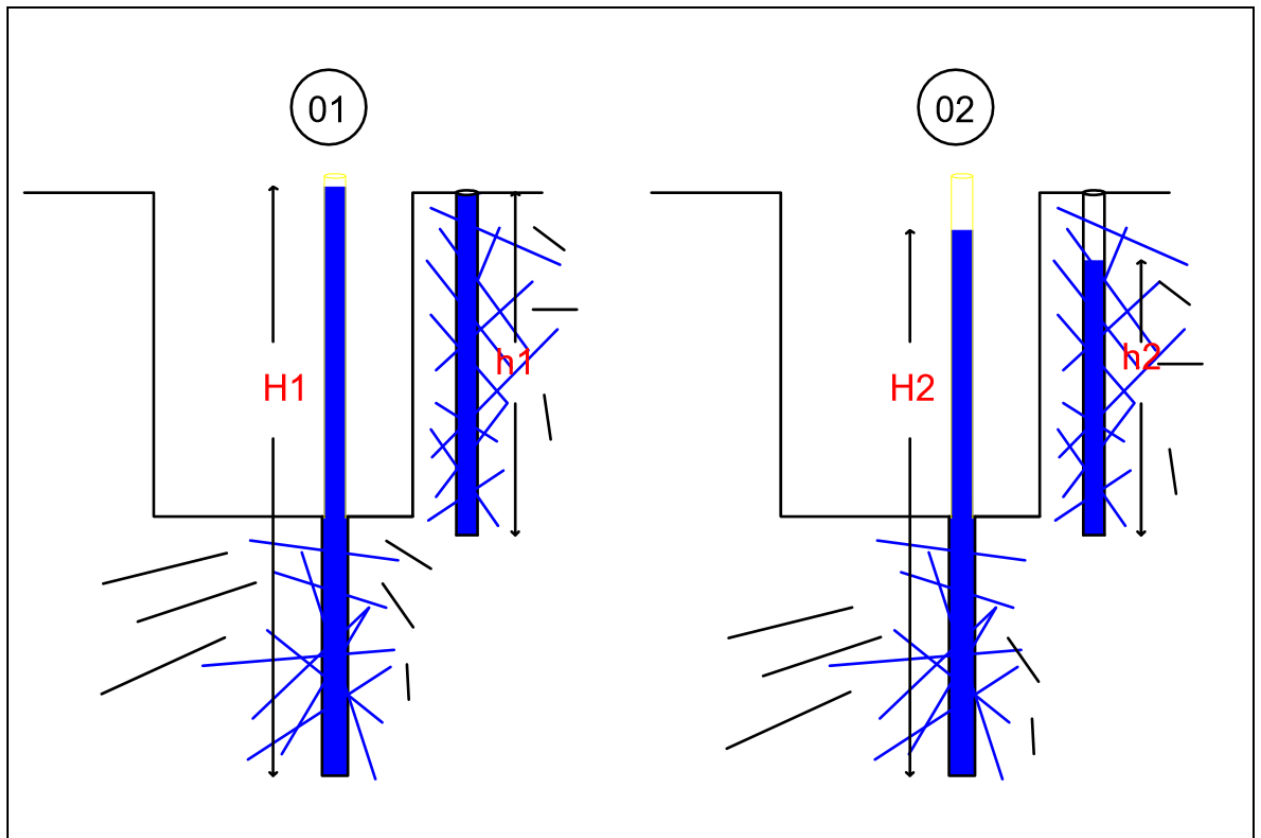
Se apertura calicatas de 2.5 m a 3 m de profundidad con una sección de 2mx2m realizando una adecuada voladura (voladura controlada)

- Se efectúa dentro, una perforación de 34”mm de  $\Phi$ , con una profundidad de acuerdo a la prueba entre 1.50 m – 2 m.
- Se coloca el tubo PVC, en posición vertical de acuerdo a la altura de la prueba. (altura en m.)
- Se rellena el espacio sobrante o vacío entre el tubo PVC y el suelo con mezcla de cemento, arena, yeso, cuando fragua la mezcla esta queda sellado e impermeabilizado el sector.
- Se llena el tubo PVC con agua y se deja saturar por espacio de 12 horas.
- Después del tiempo transcurrido se llena el tubo con agua registrándose en el cronometro el inicio cero, luego se mide el descenso (centímetros) en intervalos de tiempo entre 1,2,3,4,5,10,15,20,25,30,45, y 60 minutos.
- El valor será obtenido tras tres lecturas consecutivas casi en forma constante.

De acuerdo a la siguiente imagen.



IMAGEN N°4.1: Pruebas de permeabilidad de carga variable



FUENTE: Elaboración propia

En la parte 01 se aprecia que se realizó una perforación dentro de la calicata y otra fuera de ella, ambas cargadas de agua, para facilidad del especialista se incorpora un tubo de menor diámetro que el taladro dentro del pozo y se llena de agua. después de cierto tiempo en la calicata 02 se aprecia el nivel de agua que filtro en las fracturas del macizo rocoso.

## REGISTRÓ DE DATOS DE PERDIDA DE ALTURA DE CARGA

TABLA N°4.1: Registro de pérdidas de carga en el estribo derecho, tiempo vs altura de carga

ESTRIBO DERECHO		
Profundidad	TIEMPO (min)	PERDIDA DE ALTURA DE CARGA (m)
0 -2.00	01 - 02	2.500 - 2.450
	02 - 05	2.450 - 2.386
	05 - 10	2.386 -2.354
	10 - 20	2.354 - 2.305
	20 - 30	2.305 - 2.251
2.00 - 3.80	01 - 02	4.500 -4.000
	02 - 05	4.000 - 3.366
	05 - 10	3.366 - 3.325
	10 - 20	3.326- 3.304
	20 - 30	3.304 -3.289
3.80- 4.80	01 - 02	5.500 - 5.469
	02 - 05	5.469 - 5.438
	05 - 10	5.438 - 5.402
	10 - 20	5.402 - 5.388
	20 - 30	5.388 - 5.361
4.80- 6.00	01 - 02	7.000 - 6.980
	02 - 05	6.980 -6.974
	05 - 10	6.974 - 6.965
	10 - 20	6.965 -6950
	20 - 30	6-950 - 6.949

FUENTE: Área de geomecanica AITOR

TABLA N°4.2: Registro de pérdidas de carga en el estribo izquierdo, tiempo vs altura de carga

ESTRIBO IZQUIERDO		
Profundidad	TIEMPO (min)	PERDIDA DE ALTURA DE CARGA (m)
0 -2.10	01 - 02	2.50 - 2.44
	02 - 05	2.45 - 2.385
	05 - 10	2.385 - 2.364
	10 - 20	2.364 - 2.319
	20 - 30	2.319 - 2.259
2.10 - 3.80	01 - 02	4.500 -4.008
	02 - 05	4.008 - 3.359
	05 - 10	3.359 - 3.333
	10 - 20	3.333 - 3.305
	20 - 30	3.305 -3.280
3.80- 4.60	01 - 02	5.500 - 5.460
	02 - 05	5.460 - 5.435
	05 - 10	5.435 - 5.412
	10 - 20	5.412 - 5.389
	20 - 30	5.389 - 5.359
4.60- 5.50	01 - 02	7.000 - 6.980
	02 - 05	6.980 - 6.978
	05 - 10	6.978 - 6.958
	10 - 20	6.958 - 6.945
	20 - 30	6.945 - 6.943

FUENTE: Área de geomecanica AITOR

CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)

ESTRIBO DERECHO

$$K = \frac{\left(\frac{D}{2}\right) * \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)}{2(t_1 - t_2)}$$

$$K = \frac{\frac{0.32}{2} * \ln\left(\frac{2.500}{2.440}\right)}{2 * (2 - 1)}$$

$$K = 1.6 * 10^{-3}$$

K=PERMEABLE

ESTRIBO IZQUIERDO

$$K = \frac{\left(\frac{D}{2}\right) * \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)}{2(t_1 - t_2)}$$

$$K = \frac{\frac{0.32}{2} * \ln\left(\frac{6.958}{6.945}\right)}{2 * (20 - 10)}$$

$$K = 1.496 * 10^{-5}$$

K=IMPERMEABLE

## ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

CUADRO N°4.2: Ensayos de permeabilidad en el Estribo Derecho

ENSAYO DE PERMEABILIDAD INSITU (metodo de carga variable)				
UBICACIÓN		P1D ESTRIBO DERECHO -EJE		
COTA REF.(Boca de calicata)		4520.00	msnm	
PROFUNDIDAD ENSAYO		10.00	m.	
DIAMETRO TUBERIA 3/4"		19.05	mm	
AREA TUBERIA		285.02	cm2	
ALTURA NIVEL FREATICO		0	cm	
ALTURA INICIAL DE CARGA (L)		5000.00	mm	
TIPO DE ENSAYO:				
UBICACIÓN	PROF.	ALTURA DE CARGA	PERMEAB K	CONDICION
	(m)	(mm)	cm/s	
P1D MARGEN DERECHA EJE - ANCCASCCOCHA	0 -2.00	5000	1.51E-02	Muy PERMEABLE
	2.00 - 4.10	5000	3.30E-03	PERMEABLE
	4.10- 5.00	7000	1.90E-04	PERMEABLE
	5.00- 7.00	7000	1.05E-05	IMPERMEABLE
	7.00 - 9.00	10000	1.33E-05	IMPERMEABLE
	9.00- 10.00	10000	1.01E-05	IMPERMEABLE
DENOMINACION DE PERMEABILIDAD			PERMEABLE	
coef. De permeabilidad		DENOMINACION		
10E-05,06		IMPERMEABLE		
10E - 04		BAJA PERMEABILIDAD		
10E - 03		SEMI PERMEABLE		
10E - 02		PERMEABLE		
>10E-01		ALTAMENTE PERMEABLE		



FUENTE: Estudio geológico y geomecánico

- Las pruebas solo se realizaron hasta 5 m, a partir de esta profundidad las pruebas resultan ser todas IMPERMEABLES y por criterios geológicos se determinó que a más profundidad seguirá siendo impermeable.

CUADRO N°4.3: Ensayos de permeabilidad en el Estribo Derecho

ENSAYO DE PERMEABILIDAD INSITU (metodo de carga variable)				
UBICACIÓN		P2D ESTRIBO DERECHO -EJE		
COTA REF.(Boca de calicata)		4512.00	msnm	
PROFUNDIDAD ENSAYO		10.00	m.	
DIAMETRO TUBERIA 3/4"		19.05	mm	
AREA TUBERIA		285.02	cm2	
ALTURA NIVEL FREATICO		0	cm	
ALTURA INICIAL DE CARGA (L)		5000.00	mm	
TIPO DE ENSAYO:				
UBICACIÓN	PROF.	ALTURA DE CARGA	PERMEAB (K)	CONDICION
	(m)	(mm)	cm/s	
PID MARGEN DERCHA EJE - ANCCASCCOCH A	0 -2.00	5000	2.10E-03	PERMEABLE
	2.00 - 3.80	5000	1.90E-04	PERMEABLE
	3.80- 4.80	7000	1.50E-04	PERMEABLE
	4.80- 6.00	7000	1.04E-05	IMPERMEABLE
	6.00 - 8.50	10000	1.20E-05	IMPERMEABLE
	8.50 - 10.00	10000	1.11E-05	IMPERMEABLE
DENOMINACION DE PERMEABILIDAD			SEMI PERMEABLE	
coef. De permeabilidad		DENOMINACION		
10E-05,06		IMPERMEABLE		
10E - 04		BAJA PERMEABILIDAD		
10E - 03		SEMI PERMEABLE		
10E - 02		PERMEABLE		
>10E-01		ALTAMENTE PERMEABLE		





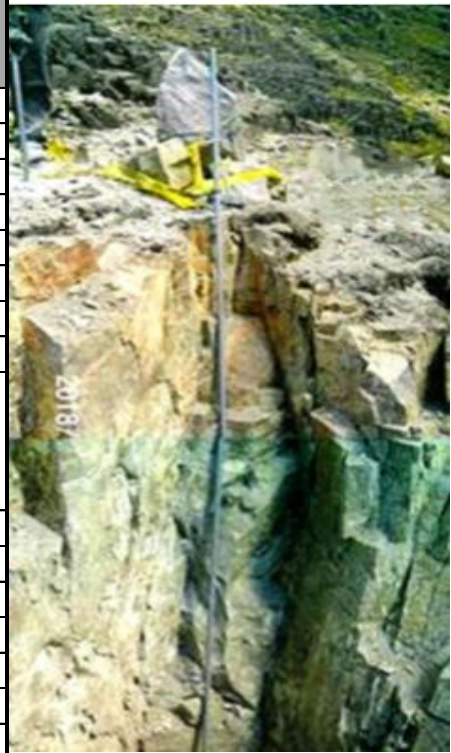


FUENTE: Estudio geológico y geomecánico

- Las pruebas solo se realizaron hasta 5m, a partir de esta profundidad las pruebas resultan ser todas IMPERMEABLES y por criterios geológicos se determinó que a más profundidad seguirá siendo impermeable.

CUADRO N°4.4: Ensayos de permeabilidad en el cauce

ENSAYO DE PERMEABILIDAD INSITU (metodo de carga variable)				
UBICACIÓN		PC3 CAUCE -EJE		
COTA REF.(Boca de calicata)		4512.00	msnm	
PROFUNDIDAD ENSAYO		11.00	m.	
DIAMETRO TUBERIA 3/4"		19.05	mm	
AREA TUBERIA		285.02	cm2	
ALTURA NIVEL FREATICO		0	cm	
ALTURA INICIAL DE CARGA (L)		5000.00	mm	
TIPO DE ENSAYO:				
UBICACIÓN	PROF.	ALTURA DE CARGA	PERMEAB (K )	CONDICION
	(m)	(mm)	cm/s	
PID MARGEN DERCHA EJE - ANCCASCOCHA	0 -2.00	5000	1.90E-03	PERMEABLE
	2.00 - 3.00	5000	1.75E-03	PERMEABLE
	3.00-4.50	7000	1.34E-03	PERMEABLE
	4.50-5.0	7000	1.50E-04	PERMEABLE
	5.00-7.50	10000	1.20E-05	IMPERMEABLE
	7.50-9.30	10000	1.90E-05	IMPERMEABLE
	9.30-11.00	11000	1.15E-05	IMPERMEABLE
DENOMINACION DE PERMEABILIDAD			SEMI PERMEABLE	
coef. De permeabilidad		DENOMINACION		
10E-05,06		IMPERMEABLE		
10E - 04		BAJA PERMEABILIDAD		
10E - 03		SEMI PERMEABLE		
10E - 02		PERMEABLE		
>10E-01		ALTAMENTE PERMEABLE		



FUENTE: Estudio geológico y geomecánico

- Las pruebas solo se realizaron hasta 5 m, a partir de esta profundidad las pruebas resultan ser todas IMPERMEABLES y por criterios geológicos se determinó que a más profundidad seguirá siendo impermeable.

CUADRO N°4.5: Ensayos de permeabilidad en el Estribo Izquierdo

ENSAYO DE PERMEABILIDAD INSITU (metodo de carga variable)				
UBICACIÓN		P4I ESTRIBO IZQUIERDO -EJE		
COTA REF.(Boca de calicata)		4511.00	msnm	
PROFUNDIDAD ENSAYO		10.00	m.	
DIAMETRO TUBERIA 3/4"		19.05	mm	
AREA TUBERIA		285.02	cm2	
ALTURA NIVEL FREATICO		0	cm	
ALTURA INICIAL DE CARGA (L)		5000.00	mm	
TIPO DE ENSAYO:				
UBICACIÓN	PROF.	ALTURA DE CARGA	PERMEAB (K)	CONDICION
	(m)	(mm)	cm/s	
PID MARGEN DERCHA EJE - ANCCASCCOCHA	0 -2.00	5000	1.26E-03	PERMEABLE
	2.00 - 3.40	5000	1.70-E04	PERMEABLE
	3.40- 4.90	7000	1.35E-04	PERMEABLE
	4.90- 6.30	7000	1.03E-05	IMPERMEABLE
	6.30 - 8.50	10000	1.20E-05	IMPERMEABLE
	8.50 - 10.00	10000	1.11E-05	IMPERMEABLE
DENOMINACION DE PERMEABILIDAD			BAJA PERMEABLE	
coef. De permeabilidad		DENOMINACION		
10E-05,06		IMPERMEABLE		
10E - 04		BAJA PERMEABILIDAD		
10E - 03		SEMI PERMEABLE		
10E - 02		PERMEABLE		
>10E-01		ALTAMENTE PERMEABLE		



FUENTE: Estudio geológico y geomecánico

- Las pruebas solo se realizaron hasta 4.5 m, a partir de esta profundidad las pruebas resultan ser todas IMPERMEABLES y por criterios geológicos se determinó que a más profundidad seguirá siendo impermeable.



CUADRO N°4.6: Ensayos de permeabilidad en el Estribo Izquierdo

ENSAYO DE PERMEABILIDAD INSITU (metodo de carga variable)				
UBICACIÓN		PSI ESTRIBO IZQUIERDO -EJE		
COTA REF.(Boca de calicata)		4514.00	msnm	
PROFUNDIDAD ENSAYO		10.00	m.	
DIAMETRO TUBERIA 3/4"		19.05	mm	
AREA TUBERIA		285.02	cm2	
ALTURA NIVEL FREATICO		0	cm	
ALTURA INICIAL DE CARGA (L)		5000.00	mm	
TIPO DE ENSAYO:				
UBICACIÓN	PROF.	ALTURA DE CARGA	PERMEAB (K)	CONDICION
	(m)	(mm)	cm/s	
PID MARGEN DERCHA EJE - ANCCASCCOCH A	0 -2.10	5000	1.65E-04	PERMEABLE
	2.10 - 3.80	5000	1.33E-04	PERMEABLE
	3.80- 4.60	7000	1.11E-04	PERMEABLE
	4.60- 5.50	7000	2.40E-05	IMPERMEABLE
	5.50 - 8.50	10000	1.91E-05	IMPERMEABLE
	8.50 - 10.00	10000	1.40E-05	IMPERMEABLE
DENOMINACION DE PERMEABILIDAD			BAJA PERMEABLE	
coef. De permeabilidad		DENOMINACION		
10E-05,06		IMPERMEABLE		
10E - 04		BAJA PERMEABILIDAD		
10E - 03		SEMI PERMEABLE		
10E - 02		PERMEABLE		
>10E-01		ALTAMENTE PERMEABLE		



FUENTE: Estudio geológico y geomecánico


- Las pruebas solo se realizaron hasta 4.5 m, a partir de esta profundidad las pruebas resultan ser todas IMPERMEABLES y por criterios geológicos se determinó que a más profundidad seguirá siendo impermeable.

CUADRO N°4.7: Análisis de los ensayos de permeabilidad en el eje de la REPRESA

Calicata N°	P1D	P2D	P3C	P4I	P5I
UBICACIÓN	Eje - Margen DERECHA	Eje - Margen DERECHA	Eje - Margen DERECHA	Eje - Margen IZQUIERDO	Eje - Margen IZQUIERDO
Profundidad calicata (m)	10.00	10.00	11.00	10.00	11.00
Profundidad del ensayo (m)	10.00	10.00	11.00	11.00	11.00
Permeabilidad K=(cm./seg.)	1.22E-04	1.06E-04	1.15E-03	1.10E-04	1.40E-04
Características hidricas	BAJA PERMEABILIDA	BAJA PERMEABILIDAD	SEMI PERMEABLE	BAJA PERMEABILIDAD	BAJA PERMEABILIDA
Substratum ROCOSO	ROCA FRACTURADA	ROCA FRACTURADA	ROCA FRACTURADA	ROCA FRACTURADA	ROCA FRACTURADA


FUENTE: Estudio geológico y geomecánico

CUADRO N°4.8: Resultado de las pruebas de compresión muestra N°1

ENSAYOS DE COMPRESION SIMPLE, Norma MTC E 703 - 704						 <b>LAS BAMBAS</b>	
MUESTRA	ROCA: E1D			COTA	4520.00		
MUESTRA N°	LITOLOGIA	MEDIDAS			Area base	Resiatencia	Ang. Friccion
		Altura cm	Lado a cm	Lado b cm	cm2	Kg/cm2	ó
M1	Diorita fract.	11.00	6.00	6.00	36	137.30	30.90
M2	Diorita fract.	13.20	6.70	6.70	44.89	130.19	29.30
M3	Diorita fract.	10.20	6.60	6.30	41.58	133.35	30.10


FUENTE: Estudio geológico y geomecánico

CUADRO N°4.9: Resultado del cálculo de la capacidad portante muestra N°1

CALCULO DE CAPACIDAD PORTANTE					
MUESTRA	ROCA EID				
Profundidad de cimentacion	(m)	1.00	2.00	3.00	4.00
Peso especifico de la roca	g	2.564	2.564	2.564	2.564
Resistencia a la compresion simple	Kg/cm2	130.19	130.19	130.19	130.19
Angulo de friccion interna por compresio simpl.		29.29	29.29	29.29	29.29
qμ	Kg/cm2	30.624	61.284	91.872	122.496
qadm.= qμ/3	Kg/cm2	10.208	20.428	30.624	40.832

FUENTE: Estudio geológico y geomecánico

CUADRO N°4.10: Resultado de las pruebas de compresión muestra N°2

ENSAYOS DE COMPRESION SIMPLE, Norma MTC E 703 - 704							
MUESTRA	ROCA: E2D	COTA		4512.00			
MUESTRA N°	LITOLOGIA	MEDIDAS			Area base	Resiatencia	Ang. Friccion
		Altura cm	Lado a cm	Lado b cm	cm2	Kg/cm2	ó
M1	Diorita fract.	11.00	6.10	5.80	35.38	131.47	31.80
M2	Diorita fract.	13.00	6.30	39.00	245.7	143.00	29.90
M3	Diorita fract.	12.50	6.20	39.70	246.14	137.01	30.80


FUENTE: Estudio geológico y geomecánico

CUADRO N°4.11: Resultado del cálculo de la capacidad portante muestra N°2

CALCULO DE CAPACIDAD PORTANTE						
MUESTRA	ROCA E2D					
Profundidad de cimentacion	(m)	1.00	2.00	3.00	4.00	
Peso especifico de la roca	g	2.578	2.578	2.578	2.578	
Resistencia a la compresion simple	Kg/cm2	129.39	129.39	129.39	129.39	
Angulo de friccion interna por compresio simpl.		29.11	29.11	29.11	29.11	
$q\mu$	Kg/cm2	32.354	64.709	91.872	129.147	
$q_{adm} = q\mu/3$	Kg/cm2	10.78467	21.56967	30.624	43.049	


FUENTE: Estudio geológico y geomecánico

CUADRO N°4.12: Resultado de las pruebas de compresión muestra N°3

ENSAYOS DE COMPRESION SIMPLE, Norma MTC E 703 - 704						 <b>LAS BAMBAS</b>	
MUESTRA	ROCA: E3I			COTA	4512.00		
MUESTRA N°	LITOLOGIA	MEDIDAS			Area base	Resiatencia	Ang. Friccion
		Altura cm	Lado a cm	Lado b cm	cm2	Kg/cm2	ó
M1	Diorita fract.	12.00	6.10	5.80	35.38	141.47	31.80
M2	Diorita fract.	14.00	6.50	39.00	253.5	133.00	29.90
M3	Diorita fract.	13.00	6.40	39.70	254.08	137.01	30.80

FUENTE: Estudio geológico y geomecánico

CUADRO N°4.13: Resultado del cálculo de la capacidad portante muestra N°3

CALCULO DE CAPACIDAD PORTANTE						
MUESTRA	ROCA E3I					
Profundidad de cimentacion	(m)	1.00	2.00	3.00	4.00	
Peso especifico de la roca	g	2.575	2.575	2.575	2.575	
Resistencia a la compresion simple	Kg/cm2	132.3	132.3	132.3	132.3	
Angulo de friccion interna por compresio simpl.		29.71	29.71	29.71	29.71	
$q\mu$	Kg/cm2	30.799	61.799	92.699	123.61	

FUENTE: Estudio geológico y geomecánico

## **4.5.- MATERIALES DE INYECCION**

### **4.5.1.- MATERIALES**

#### **4.5.1.1 Cemento**

- ✓ **El cemento Portland:** En el proyecto ANCASCCOCHA se utilizó el cemento Yura portland tipo I, que generalmente se presentan en sacos de 42.50 kg

#### **4.5.1.2 El Agua (H<sub>2</sub>O)**

Este líquido importante es usado para la lechada de cemento, deberá estar libre de cualquier tipo de sulfatos materias orgánicas u otros materiales particulados. La temperatura del agua deberá estar entre 40°F (4°C) a 75°F (24°C). El pH debe estar en el rango de  $7 \pm 1$ .

#### **4.5.1.3 Los aditivos**

Según el tipo de mezcla y los parámetros de roca, se podrá utilizar aditivos como acelerantes, retardadores, expansores, silicatos, asfaltos, u otros, previa evaluación del especialista.

En este caso se utilizó un aditivo reductor de agua o plastificante, **CHEMAMENT 400** que es un aditivo súper plastificante, reduce el agua presente en las fisuras del macizo rocoso para el concreto, es utilizado también para la fabricación de concretos de alta resistencia la cual posibilita su gran capacidad de impermeabilizar las zonas tratadas.

#### 4.6.- LECHADA DE CEMENTO

Una vez realizada mezcla adecuada, se toma en cuenta los siguientes parametros:

- ✓ sedimentación < 5%
- ✓ Viscosidad baja
- ✓ La cohesión relativa: < 0.2 mm
- ✓ finura de cemento: > 4.0 cm<sup>2</sup>/gr
- ✓ Fluidéz, grado de penetración del Grouting con relación al tiempo.
- ✓ La densidad (la Densidad Específica).
- ✓ Resistencia a la compresión simple a los 7 y 28 días de su curado.
- ✓ Prueba de los materiales de mezcla, pruebas descomposición química del cemento,

Estas lechadas o mezclas de cemento pueden presentarse en dos tipos de mezclas tales como en mezclas estables e inestables

a) **Lechada inestable:** Esta lechada se genera cuando el cemento es diluido con bastante agua en proporciones variables. Las inyecciones con este tipo de mezcla se aplican cuando la roca no presenta dificultades (buena capacidad portante de la roca). La decantación es mayor a 5% para mezclas de agua cemento de 1:1, 2:1, 3:1 relación a:c

Donde:

a: Agua

c: Cemento.

**b) Lechada estable;** esta lechada se produce cuando la decantación es menos a 5% generalmente para mezclas de agua-cemento de 0.9:1, 0.8:1, 0.7:1, 0.6:1, 0.5:1 relación a:c.

- Cemento: 100 % (peso) Portland
- Agua: 80 % (peso)
- Superplastificante: 0.85 % (peso)

#### **4.7.- ENSAYOS DE LABORATORIO EN CAMPO PARA MESCLA DE INYECCION**

Para un buen diseño de mezclas de la lechada de cemento y su control permanente de la misma, se realizó ensayos en campo requeridos como:

- La Viscosidad.
- La Cohesión.
- La Resistencia a la compresión simple.

Esas propiedades reologicas de las mezclas son muy determinantes para el tratamiento de las inyecciones en la represa; cabe mencionar que el suministro de aditivos se puede modificar de acuerdo a las propiedades de la mezcla teniendo en cuenta los parámetros geomecánicas de la matriz rocosa a tratar.

##### **4.7.1.- La Viscosidad Media con el Embudo Marsh.**

Esta definida como el tiempo en segundos que serán necesarios para que la muestra del fluido (mezcla para la lechada) pase en cierto tiempo por un embudo padronizado. Para

dicho ensayo se utilizó el embudo Marsh. El ensayo de del fluido es realizado induciendo cierta cantidad colocando 1300 ml de lechada de cemento en el embudo y se toma datos del tiempo necesario para pasar 1000 ml de mezcla desde el embudo hacia un envase, posteriormente se compara los resultados con tablas de viscosidad de fluidos.

#### 4.7.2.-Densidad de la Mezcla

La densidad o peso específico de la mezcla de inyección recién preparada puede ser sencillamente determinada con el uso de una probeta y una balanza digital suficientemente precisa; para este tipo de ensayos se toma un volumen determinado de mezcla en la probeta, inicialmente se toma el peso de la probeta previamente tarada y se pesa en la balanza digital una vez obtenida los datos se prosigue con el pesado de la probeta con mezcla para luego obtener el peso real de la mezcla ; al obtener ambos valores, de masa y volumen, recurrimos a la formula o relación de densidad que viene a ser igual a la masa de la mezcla dividido entre su volumen obteniendo de esta forma la densidad de la lechada.

*CUADRO N° 4.12: Características de las mezclas de inyección*

PARAMETRO A MEDIR	UNIDAD	RANGO
Viscosidad o cono de Marsh	seg	29 - 33
Densidad o peso volumetrico	g/cm <sup>3</sup>	1.49 - 1.44
Decantacion (sedimentacion en 2 hrs)	%	4%
Cohesion	g/cm <sup>3</sup>	<0.03 gr/cm <sup>2</sup> o 0.2mm
Coeficiente de filtrado	—	<15mm
Resistencia a la compresion simple (28 dias)	kg/cm <sup>2</sup>	> 9.8 Mpa (100 Kg/cm <sup>2</sup> )

*FUENTE: Estudio de geología y geotecnia.*

#### 4.7.3.-Resistencia del fluido a la Compresión Simple.

Teniendo ya lista la mescla, se agita de tal con la finalidad de homogenizar por completo, posteriormente se procede al llenado con mezcla moldes (probetas) de 5 cm de



diámetro y 10cm de altura, para tener la muestra completamente compactada se le aplica una fuerza externa en las paredes exteriores de los moldes, las muestras se retiran de sus moldes después de 24 horas y así tener las briquetas listas.

Una vez extraído las muestras se procese al curado curado que en todo momento deben de estar cubiertas con un paño húmedo. Los muestras o especímenes se ensayan, realizando ensayos de laboratorio como la de compresión simple al cumplir los 7, 14 y 28 días de su respectivo fraguado.

Según Lombardi para un diseño normal de mezcla endurecida se tiene que aplicar esfuerzos como lo siguiente:

- Esfuerzos de 9 -10 MPa a los 7 días.
- Esfuerzos de 13 a 17 MPa a los 28 días.

#### **4.8.- EQUIPO DE INYECCION**

El equipo básico para realizar inyecciones de cemento se debe componer de lo siguiente:

- ✓ Toberas de inyección
- ✓ La mezcladora
- ✓ Agitador
- ✓ La Bomba de inyección
- ✓ Mangueras y obturadores.

#### **4.8.1. Proceso básico de una inyección:**

##### **a. Perforación de taladros a inyectar**

Sobre el punto identificado topográficamente ubicando los puntos a tratar, se realiza la perforación de acuerdo a la topografía del terreno de trabajo, se recomienda que la plataforma de trabajo este lo más plana posible para tener mayor facilidad en su operación correspondiente, para la dirección y el ángulo de inclinación deseado no se altere.

El equipo de perforación para realizar la ejecución de los taladros, se seleccionará se acuerdo a las características del trabajo a realizar cabe decir (diámetro, profundidad, inclinación, ubicación de las perforaciones) y del macizo rocosa a perforar, las razones de disponibilidad, plazos y economía. Generalmente se emplean equipos de perforación del tipo “**Trackdrill**” con martillo neumático, con diámetro de broca de 2 ¾” a 3”.

De acuerdo a la imagen (4.1). se hicieron calicatas en roca y en la base de la calicata se realizó dos taladros con equipos convencionales, taladros de 2 m.

##### **b. Elaboración de la mezcla de lechada de cemento.**

Consiste en realizar una mezcla adecuada de la lechada considerando las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, cohesión de mezcla, viscosidad y sobre todo grado de fraguado.

### **c. Inyección de la lechada.**

Consiste en realizar la inyección de lechada induciendo a alta presión y velocidad, para llegar adecuadamente a los rincones de las aberturas y fisuras utilizadas para la evacuación del fluido de perforación. En seguida se inicia el proceso de inyección de la lechada del agente cementante con una presión y velocidad constante.

La longitud máxima de tramo de tratamiento, en macizos rocosos, no debe sobrepasar el intervalo de cinco (5) a diez (10) metros, en caso de estar la roca alterada o fisurada, ajustarse dicho intervalo.

## **4.9.- CARACTERISTICAS DE INYECCIÓN**

### **4.9.1.- Presiones para el Jet Grouting en rocas.**

Las presiones están condicionadas de acuerdo a la resistencia y comportamiento de la roca, aunque para obtener la máxima penetración del fluido, éstas deben ser las más altas, como sea posible.

La ejecución de las presiones en el inyectado de la lechada depende de las características de la matriz rocosa y el tipo de roca.

En rocas débiles o con bastante presencia de fisuras, normalmente se recomienda limitar la ejecución de la presión al peso de la roca subyacente. Una regla que se usa para éste tipo de roca entre de dureza media y débil, es aplicar presiones de 0.25 bar/m de profundidad

En formaciones de rocas duras tales como granito y gneis, el efecto de retención es importante, pudiéndose emplear presiones de hasta 10 veces el peso del recubrimiento, sin que se produzca fracturación o movimiento del terreno.

**Clasificación:**

✓ Roca muy fracturada débil	2.0 a 3.0 bar/m
✓ Roca fracturada	3.0 a 5.0 bar/m
✓ Roca buena	5.0 a 7.0 bar/m
✓ Roca muy buena	7.0 a 10.0 bar/m

**4.9.2.- Estimación del radio de influencia del jet Grouting en la inyección**

La lechada de cemento se considera como un fluido visco-plástico por tener componentes con propiedades cohesivas altas.

Lombardi y Deere, desarrollaron un patrón para este tipo de fluidos, llegando a la siguiente expresión.

$$R_{max} = P_{max} * \frac{t}{c} \quad (4.1)$$

Donde:

- ✓  $R_{m\acute{a}x}$ : radio maximo de penetración del fluido
- ✓  $t$ : abertura de fisuras

- ✓  $P_{m\acute{a}x}$ : presión final máxima alcanzada al inyectar
- ✓  $c$ : cohesión de la lechada.

#### **4.9.3.- Limitaciones de lechada**

Estas limitaciones generalmente se dan con los materiales y con los aspectos operativos de su ejecución. Las primeras son de naturaleza física de los materiales de a inyectar y las propiedades fisicoquímicas de los materiales, con los cuáles la lechada tendrá contacto.

- **Limitaciones con los materiales:**

- La profundidad del taladro y geometría de los vacíos existentes a rellenar
- Tamaño de las partículas de cemento, cualquier otro componente solido de lechada.
- La existencia de minerales en el agua o en los materiales que puedan tener efectos negativos en la lechada, como resistencia, fraguado lento.
- La presencia de arcillas u otros materiales erosionables que no puedan ser totalmente removidos.
- El asentamiento de las partículas de cemento suspendidas en la lechada.

- **Limitaciones con los aspectos operativos:**

- Generación de presiones inadecuadas.

- Utilización de equipos de perforación e inyección no adecuados.
- Relleno deficiente de los vacíos en los taladros debido a un inadecuado espesamiento de la mezcla o una mala inyección
- Espaciamiento y orientación de las perforaciones inadecuados.
- Falla ocasionada por el personal de diseño, ejecución e inspección de las inyecciones de lechada.

Existen circunstancias, que pueden impedir el proceso de una buena inyección. Así como el flujo de agua puede requerir aditivos o acelerantes para su fraguado inmediato. También las bajas temperaturas pueden generar daño, en la mezcla de la lechada se forma coágulos y al inyectar no hay una buena penetración en las fisuras.

#### **4.9.4.- La debilidad de la lechada.**

Las debilidades de una lechada en las pantallas de impermeabilización se dan generalmente por:

- ✓ Cuando el material a inyectar es débil, débilmente une a las paredes de las fisuras o juntas generando una débil cohesión.
- ✓ Cuando el agua filtra a lo largo de los taladros inyectados a través de las fisuras alterando el correcto sellado de la lechada de cemento.

Esta última condición se genera la presión de inyección es baja de esta manera la

presión no genera fuerza de rechazo contra la filtración, o cuando la lechada de cemento no está mezclada de acuerdo a las propiedades geomecánicas de la roca o por generar nuevos caminos a lo largo de la superficie de las fisuras, juntas, o vacíos, dejados por el agua sedimentada en la lechada.

#### **4.10.- HIDROFRACTURAMIENTO**

Hidrofracturamiento es la fractura o formación de nuevas fisuras ocasionadas por la cortina de inyección por lechada de cemento, generalmente se ocasiona por someterle demasiada presión y por el mal diseño de los taladros.

El hidrofracturamiento está relacionado con la rotura de fisuras. Esta apertura se ocasiona debido a los esfuerzos de tensión inducida en la roca por la alta presión de lechada. También se da por ángulo entre las fisuras posibles. En cualquier caso, se da debido a la impregnación de la lechada, en las fisuras o juntas.

#### **4.11.- DISEÑO DE CORTINAS DE GROUTING**

La ejecución de una sola cortina o pantalla impermeabilizante dependerá mucho de las condiciones geológicas, si esta es desfavorable pondrá en riesgo la eficiencia de la cortina impermeabilizante esto ocasionará la no interacción hidráulica completa entre taladros inyectados.

Existen taladros desviados y en consecuencia darse una cortina defectuosa e ineficiente de lechada, en zonas erosionables no es recomendable realizar este tipo de

métodos.

La Ancascococha tendrá una cimentación de 2.5 m y las inyecciones no superan los 4 m a partir de la base de la cimentación de la represa, además el macizo rocoso es competente parámetro que nos ayuda que la inyección sea exitosa para la impermeabilización de la represa.

#### **4.12.- ESPACIAMIENTO DE LOS TALADROS**

(Donald A. & Kenneh D., 1992), recomiendan en su libro Dam Foundation Grouting, usar una distancia de 6 metros entre los taladros primarios o principales, y (Houlsby, 1990) recomienda usar 10 metros de distancia horizontal constante entre taladros primarios, secundarios, terciarios, etc. De acuerdo a los parámetros de la matriz rocosa.

En la represa Ancascococha solo se realizará taladros primarios y secundarios debido a la buena calidad del macizo rocoso, la distancia de taladro primario a otro primario será de 3m. y de primario a secundario será de 1.5 m. En todo el eje de la represa se realizará 15 taladros primarios y 16 secundarios. Ver lamina

##### **4.12.1.- Inclinación de los taladros**

La ejecución de las cortinas de inyección generalmente se desarrolla con taladros perpendiculares a la superficie del macizo rocoso, con la finalidad de lograr una cortina,



con una profundidad del sondaje constante. Los sondajes de jet Grouting deben ser perforaciones de acuerdo a la orientación de la matriz rocosa que permita desarrollar una inyección eficiente del suelo tratado, de esta manera obteniendo intersecciones con las discontinuidades y fisuras que potencialmente son manifestadas para obtener un sellado adecuado.

El estudio geológico, la evaluación de fallas y fisuras, nos ayuda a decidir la inclinación u orientación de los sondajes y así rellenar las fisuras con el Jet Grout.

#### 4.13.- PRUEBAS DE INYECCIÓN

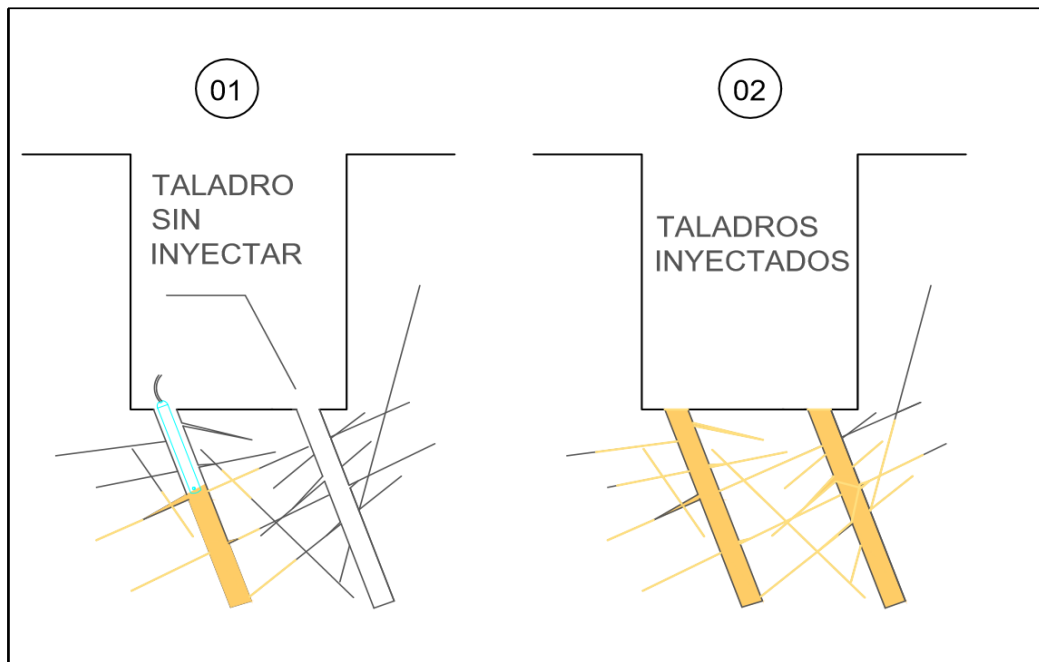
Se realizaron 6 perforaciones exploratorias, luego se hace el ensayo del diseño de mezcla la cual se ajustó adecuadamente de acuerdo a las propiedades geomecánicas de la matriz rocosa su posterior impermeabilización. En el margen derecho se hizo dos perforaciones inclinadas cada taladro de una profundidad de 4 metros con una inclinación de 45°, en el margen izquierdo se realizó 2 talaros de 4.5 metros y otros dos en el cauce de la laguna con una profundidad de 4.5 metros con una inclinación perpendicular a la roca es debido a que el cauce es la parte que presenta mayor cantidad de fisuras.

*CUADRO 4.13: Inyecciones exploratorias*

UBICACIÓN	CODIGO	LONGITUD (m)	INCLINACION
ESTRIBO DERECHO	ED - 01	4	45°
		4	45°
ESTRIBOIZQUIERDO	EI - 04	4.5	45°
		4.5	45°
CAUCE DE LAGUNA	PC - 09	4.5	90°
		4.5	90°

*FUENTE: Estudio geológico AITOR I.C.*

IMAGEN N°4.2: Pruebas de inyección de lechada



FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.13.1.- SONDAJES DE VERIFICACIÓN

Concluidas las pruebas de inyecciones de impermeabilización es conveniente realizar los taladros de verificación, las cuales se desarrolla con el fin de verificar el resultado final de la pantalla impermeable. Las perforaciones para la verificación se realizan al medio de los taladros inyectados.

Posteriormente se realiza la prueba de Lefranc de carga variable similar a las verificaciones de permeabilidad estos resultados de permeabilidad ( $k$ ), son comparados con los valores iniciales, de esta forma se identifica la reducción o incremento de la permeabilidad.

CUADRO 4.14: taladros de verificación

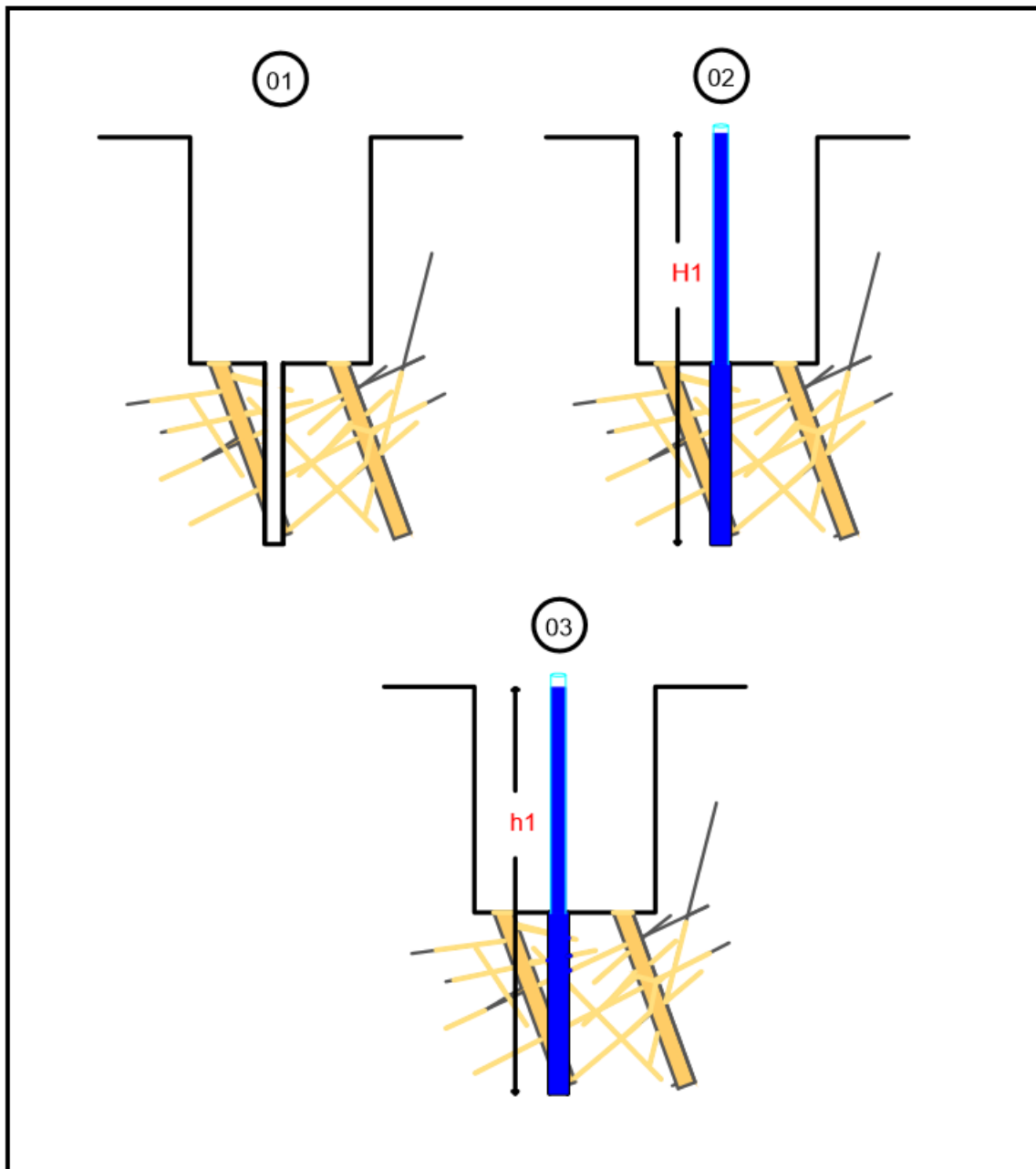
CODIGO	UBICACIÓN	INCLINACION	PROFUNDIDAD
PV - 01	E. DERECHO	42°	4 metros
PV - 02	E. DERECHO	45°	4 metros
PV - 03	E. IZQUIERDO	50°	4 metros
PV - 04	E. IZQUIERDO	60°	4 metros
total			16 metros

FUENTE: Estudio geológico AITOR I.C.

#### 4.13.2.- Pruebas de Permeabilidad (verificación)

Los ensayos de permeabilidad en los taladros de verificación fueron efectuados en tramos de 3 metros y 4 metros en todo el eje de la represa, la profundidad de los taladros se consideró de acuerdo a las pruebas de permeabilidad realizados en la etapa inicial. Los valores obtenidos a partir de los 3 metros resultan ser impermeable, estos se resumen a continuación.

IMAGEN N°4.3: Pruebas de permeabilidad después de la inyección



FUENTE: Elaboración propia.

CUADRO 4.15: Pruebas de permeabilidad en el taladro de verificación PV-01

ESTRIBO IZQUIERDO			
Profundidad	Unidad lugeon	K(cm/s)	condicion
0 m - 1.00m	1.13	4.05E - 05	IMPERMEABLE
1.00m - 2.00m	0.9	3.84E - 05	MUY IMPERMEABLE
2.00m - 3.00m	0.04	1.50E - 06	MUY IMPERMEABLE
3.00m - 4.00m	0.05	1.74E - 06	MUY IMPERMEABLE

FUENTE: Estudio geológico AITOR I.C.

CUADRO 4.16: Prueba de permeabilidad en el taladro de verificación PV-02

ESTRIBO IZQUIERDO			
Profundidad	Unidad lugeon	K(cm/s)	condicion
0 m - 1.50m	1.6	5.75E - 05	IMPERMEABLE
1.50m - 2.50m	0.25	9.91E - 06	MUY IMPERMEABLE
2.50m - 3.60m	0.32	1.92E - 06	MUY IMPERMEABLE

FUENTE: Estudio geológico AITOR I.C.

CUADRO 4.17: Prueba de permeabilidad en el taladro de verificación PV-03

ESTRIBO IZQUIERDO			
Profundidad	Unidad lugeon	K(cm/s)	condicion
0 m - 1.00 m	1.75	5.75E - 05	IMPERMEABLE
1.00 m - 2.00 m	0.78	2.82E - 06	MUY IMPERMEABLE
2.00 m - 3.00 m	0.75	2.62E - 06	MUY IMPERMEABLE
3.00 m - 3.80 m	0.57	2.30E - 06	MUY IMPERMEABLE

FUENTE: Estudio geológico AITOR I.C.

CUADRO 4.18: Prueba de permeabilidad en el taladro de verificación PV-03

ESTRIBO IZQUIERDO			
Profundidad	Unidad lugeon	K(cm/s)	condicion
0 m - 0.90 m	1.32	5.30E - 05	IMPERMEABLE
0.90 m - 2.00 m	0.84	3.38E - 05	MUY IMPERMEABLE
2.00 m - 3.00 m	0.65	2.63E - 06	MUY IMPERMEABLE
3.00 m - 3.90 m	0.47	1.91E - 06	MUY IMPERMEABLE

FUENTE: Estudio geológico AITOR I.C.

#### 4.14.- ALMACENAMIENTO DE AGUA

##### 4.14.1.-Balance Hídrico

El balance hídrico de la laguna Ancascococha ha sido realizado comparando la oferta hídrica potencialmente aprovechable (OHPA) estimada para la laguna Ancascococha que

está en función del resultado de la diferencia entre la disponibilidad hídrica al 75% de persistencia (OHPD) y las pérdidas por evaporación e infiltración del embalse; mientras que la demanda hídrica contempla el caudal ecológico establecido para el tramo aguas abajo de la captación y la demanda agrícola total requerida para el Proyecto.

Deduciéndose que, para un año normal, la demanda hídrica requerida de 626,887.91 m<sup>3</sup>, llega a ser cubierta en su totalidad por la oferta hídrica potencialmente aprovechable del embalse Ancascococha.

#### **4.14.2.- Balance Hídrico Anual**

Así mismo, como resultado de la simulación efectuada se ha determinado que la capacidad de almacenamiento útil de la represa Ancascococha sería de 510,000 m<sup>3</sup> fluctuando entre las cotas de 4,494.25 m.s.n.m. y 4,502.18 m.s.n.m.

#### **4.14.3.- Disponibilidad hídrica**

La represa Ancascococha almacenará un volumen total de 510.000m<sup>3</sup> al año, el agua será trasladada mediante una línea de conducción de tubería DHP, el agua transcurrirá por gravedad y esta será almacenada en la represa Chuspiri, a partir de ella será distribuida a las operaciones requeridas en la minera las Bambas.

#### 4.15.- COSTO TOTAL DE LA REPRESA ANCASCCOCHA

PRESUPUESTO REPRESA PRESA ANCASCCOCHA					
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
01	PRESA ANCASCCOCHA (C.C)				2,012,584.40
01.01	OBRAS PRELIMINARES				481,960.13
01.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL				1,412.65
01.01.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m2	539.18	2.62	1,412.65
01.01.02	TRAZO, NIVELACION Y CONTROL DE RASANTE				43,282.96
01.01.02.01	TRAZO, NIVELACION Y REPLANTEO	mes	8.00	5,410.37	43,282.96
01.01.03	CAMPAMENTO DE OBRA, SUMINISTRO DE ENERGIA Y AGUA				130,915.22
01.01.03.01	ALQUILER DE CONTENEDOR - CAMPAMENTO PROVISIONAL DE LA OBRA (Incl. T	mes	8.00	14,537.34	116,298.72
01.01.03.02	CAMPAMENTO MOVILA PIE DE OBRA (5 usos calamina y madera)	m2	50.00	64.33	3,216.50
01.01.03.03	SUMINISTRO DE ENERGIA	mes	8.00	1,000.00	8,000.00
01.01.03.04	SUMINISTRO DE AGUA	mes	8.00	425.00	3,400.00
01.01.04	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPAMIENTO Y MAQUINARIAS				18,845.75
01.01.04.01	MOVILIZACION DE MAQUINARIAS-HERRAMIENTAS PARA LA OBRA	GLB	1.00	18,845.75	18,845.75
01.01.05	SEGURIDAD, HIGIENE Y SALUD				53,000.00
01.01.05.01	SEGURIDAD, HIGIENE Y SALUD	GLB	1.00	53,000.00	53,000.00
01.01.06	CONSTRUCCION DE CAMINOS DE ACCESO				213,350.00
01.01.06.01	CONSTRUCCION DE CAMINO DE ACCESO EN TERRENO ROCOSO	m	5,000.00	42.67	213,350.00
01.01.07	ATAGUIA AGUAS ARRIBA				21,153.55
01.01.07.01	EXCAVACION CAJA CANAL MATERIAL SUELTO CON EQUIPO	m3	120.00	10.02	1,202.40
01.01.07.02	ENROCADO CON PIEDRA PESADA e=0.30m a Mano	m3	36.96	85.74	3,168.95
01.01.07.03	GEOMEMBRANA PVC DE 2.5mm (INCLUYE SERV. TECNICO)	m2	115.50	68.53	7,915.22
01.01.07.04	RELLENO CON MATERIAL FILTRO	m3	18.48	148.79	2,749.64
01.01.07.05	TUBERIA DE DRENAJE DE 315mm	m	46.20	132.41	6,117.34
01.02	OBRAS EN CIMENTACION DE PRESA				481,416.38
01.02.01	EXCAVACION CIMENTACION PRESA				132,475.48
01.02.01.01	EXCAVACION C/MAQ. EN ROCA FIJA	m3	715.26	57.13	40,862.80
01.02.01.02	EXTRACCION Y APILAMIENTO DE ROCA EN CANTERA	m3	851.63	23.94	20,388.02
01.02.01.03	CARGUIO Y TRANSPORTE DE ROCA DE CANTERA A PRESA	m3	851.63	71.98	61,300.33
01.02.01.04	ELIMINACION MATERIAL EXCEDENTE D=500m.	m3	214.58	46.25	9,924.33
01.02.02	PERFORACION E INYECCION DE IMPERMEABILIZACION DE LA FUNDACION				348,940.90
01.02.02.01	PERFORACION ROTATIVA BQ (diametro 76mm)	m	640.00	233.96	149,734.40
01.02.02.02	PERFORACION DE COMPROBACION ROTATIVA NQ CON EXTRACCION D	m	57.40	233.96	13,429.30
01.02.02.03	INYECCION DE MICRO CEMENTO PORTLAND TIPO I	m	640.00	285.98	183,027.20
01.02.02.04	PRUEBA DE ABSORCION EN ROCA	und	5.00	550.00	2,750.00



01.03	CONFORMACION CUERPO DE PRESA (CONCRETO FC=175 KG/CM2 + 30% P.M.)				773,395.48
01.03.01	OBRAS DE CONCRETO				720,427.08
01.03.01.01	LAVADO DE LA CIMENTACION DE LA PRESA	m2	539.00	5.80	3,126.20
01.03.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	272.05	53.23	14,481.22
01.03.01.03	JUNTAS DE WATER STOP DE 12"	ML	179.67	54.57	9,804.59
01.03.01.04	CONCRETO CICLOPEO FC= 175 Kg/cm2 + 30% PM	m3	1,374.81	452.88	622,623.95
01.03.01.05	ARMADURA DE ACERO, HABILITACION Y COLOCACION	kg	5,357.66	7.27	38,950.19
01.03.01.06	CONCRETO EN PANTALLA IMPERMEABLE F'C= 175 KG/CM2	m3	44.58	470.58	20,978.46
01.03.01.07	FROTACHADO DEL CUERPO DE LA PRESA	m2	47.75	8.99	429.27
01.03.01.08	JUNTA FLEXIBLE DE POLIURETANO PRESAS DE CONCRETO	m	180.00	55.74	10,033.20
01.03.02	CONTROL DE CALIDAD EN CAMPO				38,725.00
01.03.02.01	CONTROL GEOTECNICO EN LA CIMENTACION DE LA PRESA	GLB	3.00	6,000.00	18,000.00
01.03.02.02	CONTROL EN LA INSTALACION DEL SISTEMA HIDRAULICO DE LA PRESA	GLB	3.00	6,125.00	18,375.00
01.03.02.03	CONTROL EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO	Ens	15.00	90.00	1,350.00
01.03.02.04	CONTROL DE CALIDAD EN CANTERA DEL MATERIAL DE AGREGADOS	mes	1.00	1,000.00	1,000.00
01.03.03	INSTRUMENTACION DE PRESA Y OTROS				5,003.40
01.03.03.01	LIMNIMETRO GRADUADO	pza	2.00	602.95	1,205.90
01.03.03.02	PUNTOS DE CONTROL TOPOGRAFICO	und	5.00	332.81	1,664.05
01.03.03.03	PLACAS DE CONTROL DE ASENTAMIENTOS Y DESPLAZAMIENTOS	und	5.00	426.69	2,133.45
01.03.04	OTROS				9,240.00
01.03.04.01	BARANDA DE PROTECCION	m	88.00	105.00	9,240.00
01.04	CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS CONEXAS				107,072.87
01.04.01	TUBERIA DE TOMA DE FONDO				5,243.56
01.04.01.01	EXCAVACION C/MAQ. EN ROCA SUELTA	m3	0.69	35.55	24.53
01.04.01.02	EXCAVACION C/MAQ. EN ROCA FIJA	m3	1.61	57.13	91.98
01.04.01.03	NIVELACION Y PERFILADO	m2	13.80	44.42	613.00
01.04.01.04	SOLADO DE CONCRETO f'c==100 Kg/cm2 E=10cm.	m2	1.38	47.01	64.87
01.04.01.05	ARMADURA DE ACERO, HABILITACION Y COLOCACION	kg	130.41	7.27	948.08
01.04.01.06	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	2.77	53.23	147.45
01.04.01.07	CONCRETO FC=210 KG/CM2 - C/ ADITIVO	m3	1.80	539.53	971.15
01.04.01.08	REJILLA DE TOMA DE SEGUN DISEÑO	und	1.00	706.49	706.49
01.04.01.09	INSTALACION DE TUBERIA DE SALIDA DE TOMA	m	19.32	86.75	1,676.01
01.04.02	CAMARA DE VALVULAS				52,439.26
01.04.02.01	EXCAVACION C/MAQ. EN ROCA SUELTA	m3	0.30	35.55	10.67
01.04.02.02	EXCAVACION C/MAQ. EN ROCA FIJA	m3	75.08	57.13	4,289.32
01.04.02.03	NIVELACION Y PERFILADO	m2	4.00	44.42	177.68
01.04.02.04	SOLADO DE CONCRETO f'c==100 Kg/cm2 E=10cm.	m2	8.00	47.01	376.08
01.04.02.05	ARMADURA DE ACERO, HABILITACION Y COLOCACION	kg	2,791.51	7.27	20,294.28
01.04.02.06	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	36.50	53.23	1,942.90
01.04.02.07	CONCRETO FC=210 KG/CM2 - C/ ADITIVO	m3	10.63	539.53	5,735.20
01.04.02.08	PINTURA EN MUROS EXTERIORES Y INTERIORES 2 MANOS	m2	30.00	11.39	341.70
01.04.02.09	INSTALACION DE VALVULAS (CASETA DE VALVULAS)	und	1.00	11,897.96	11,897.96

01.04.02.10	INSTALACION DE JUNTA TIPO DRESSER	und	1.00	3,413.49	3,413.49
01.04.02.11	CARPINTERIA METALICA	und	2.00	1,979.99	3,959.98
01.04.03	POZA DISIPADORA DE IMPACTO				14,033.99
01.04.03.01	EXCAVACION C/MAQ. EN ROCA SUELTA	m3	1.84	35.55	65.41
01.04.03.02	EXCAVACION C/MAQ. EN ROCA FIJA	m3	4.28	57.13	244.52
01.04.03.03	NIVELACION Y PERFILADO	m2	12.24	44.42	543.70
01.04.03.04	SOLADO DE CONCRETO f'c==100 Kg/cm2 E=10cm.	m2	12.20	47.01	573.52
01.04.03.05	ARMADURA DE ACERO, HABILITACION Y COLOCACION	kg	990.95	7.27	7,204.21
01.04.03.06	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	1.58	53.23	84.10
01.04.03.07	CONCRETO FC=210 KG/CM2 - C/ ADITIVO	m3	9.47	539.53	5,109.35
01.04.03.08	ENROCADO CON PIEDRA GRANDE	m3	6.12	34.18	209.18
01.04.04	SISTEMA DE CONTROL DE EXCENDENCIAS (ALIVIADERO)				25,529.76
01.04.04.01	EXCAVACION EN MATERIAL SUELTO	m3	71.30	44.44	3,168.57
01.04.04.02	EXCAVACION C/MAQ. EN ROCA SUELTA	m3	10.15	35.55	360.83
01.04.04.03	EXCAVACION C/MAQ. EN ROCA FIJA	m3	10.84	57.13	619.29
01.04.04.04	NIVELACION Y PERFILADO	m2	10.06	44.42	446.87
01.04.04.05	SOLADO DE CONCRETO f'c==100 Kg/cm2 E=10cm.	m2	201.20	47.01	9,458.41
01.04.04.06	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	63.00	53.23	3,353.49
01.04.04.07	CONCRETO FC=210 KG/CM2 - C/ ADITIVO	m3	8.98	539.53	4,844.98
01.04.04.08	JUNTAS DE WATER STOP DE 6"	ML	31.50	26.47	833.81
01.04.04.09	JUNTA FLEXIBLE DE POLIURETANO PRESAS DE CONCRETO	m	31.50	55.74	1,755.81
01.04.04.10	ENROCADO CON PIEDRA GRANDE	m3	20.12	34.18	687.70
01.04.05	PUENTE SOBRE ALIVIADERO				4,074.82
01.04.05.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	2.60	53.23	138.40
01.04.05.02	CONCRETO FC=210 KG/CM2 - C/ ADITIVO	m3	1.55	539.53	836.27
01.04.05.03	ARMADURA DE ACERO, HABILITACION Y COLOCACION	kg	426.43	7.27	3,100.15
01.04.06	SISTEMA DE DRENAJE PERIMETRAL				5,751.48
01.04.06.01	EXCAVACION C/MAQ. EN ROCA FIJA	m3	19.80	57.13	1,131.17
01.04.06.02	NIVELACION Y PERFILADO	m2	61.60	44.42	2,736.27
01.04.06.03	RELLENO CON MATERIAL FILTRO	m3	4.40	148.79	654.68
01.04.06.04	TUBERIA DE DRENAJE DE 2"	m	88.00	13.97	1,229.36
01.05	TRANSPORTE DE MATERIALES A PIE DE OBRA				168,739.54
01.05.01	TRANSPORTE DE CEMENTO CUSCO A PIE DE OBRA				113,250.40
01.05.01.01	TRANSPORTE DE CEMENTO - CHALLHUA HUA CHO	BOL	10,684.00	4.42	47,223.28
01.05.01.02	TRANSPORTE DE CEMENTO A ALMACEN DE OBRA	BOL	10,684.00	2.75	29,381.00
01.05.01.03	TRANSPORTE DE CEMENTO EN BUGGY A PIE DE OBRA	BOL	10,684.00	3.43	36,646.12
01.05.02	TRANSPORTE DE ACERO CUSCO A PIE DE OBRA				18,365.10
01.05.02.01	TRANSPORTE DE ACERO CUSCO - CHALLHUA HUA CHO	kg	10,803.00	0.72	7,778.16
01.05.02.02	TRANSPORTE DE ACERO A CAMPAMENTO DE OBRA	kg	10,803.00	0.56	6,049.68
01.05.02.03	TRANSPORTE DE ACERO A PIE DE OBRA	kg	10,803.00	0.42	4,537.26
01.05.03	TRANSPORTE DE MADERA CUSCO A PIE DE OBRA				35,724.04
01.05.03.01	TRANSPORTE DE MADERA CUSCO A ALMACEN DE PROYECTO	p2	14,641.00	0.62	9,077.42
01.05.03.02	TRANSPORTE DE MADERA A CAMPAMENTO DE OBRA	p2	14,641.00	1.40	20,497.40

#### 4.15.1 COSTO PARCIAL DE LA IMPERMEABILIZACION DE LA REPRESA ANCASCCOCA

ITEMS	UNID	METRA	PRECIO S/.	TOTAL S/.
PERFORACION E INYECCION DE IMPERMEABILIZACION DE LA FUNDACION				348,940.90
PERFORACION ROTATIVA BQ (diametro 76mm)	m	640.00	233.96	149,734.40
PERFORACION DE COMPROBACION ROTATIVA NQ CON EXTRACCION DE MUESTRA	m	57.40	233.96	13,429.30
INYECCION DE MICRO CEMENTO PORTLAND TIPO I	m	640.00	285.98	183,027.20
PRUEBA DE ABSORCION EN ROCA	und	5.00	550.00	2,750.00

#### 4.15.2.-COSTO DE LAS PRUEBAS DE INYECCIÓN

ITEMS	UNID	PRECIO S/.	TOTAL S/.
COSTO DE LAS PRUEBAS DE INYECCION			20,160.00
APERTURA DE CALICATAS	m3	1,200.00	4,800.00
PERFORACION DE TALADROS	m	20.00	160.00
PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC CARGA VARIABLE	m	800.00	3,200.00
PRUEBAS DE INYECCION	m	350.00	2,800.00
PRUEBAS DE VERIFICACION TIPO LEFRANC CARGA VARIABLE	m	800.00	3,200.00
OTROS ( AFOROS, BATIMETRIA, TOPAGRAFIA, ETC.)	UND	6,000.00	6,000.00

## 6.5.- COSTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA MINERA LAS BAMBAS

ABASTECIMIENTO DE AGUA			
Descripcion	Cantidad	costo unitario \$	costo total \$
Bomba de aire	2	\$ 10,000.00	\$ 20,000.00
bomba de agua 1500 gpm ,500HP	2	\$ 250,000.00	\$ 500,000.00
Columna de descarga de (tuberia) 18 " (m)	1080	\$ 200.00	\$ 216,000.00
Sistema de tuberia (valvulas y accesorios)	1	\$ 80,000.00	\$ 80,000.00
<b>costo total</b>			<b>\$ 816,000.00</b>

Las labores de bombeo se estima que diariamente se gasta \$ 415.00 en la operación de todo el sistema de bombeo hasta la represa Chuspiri

COSTO DE BOMBEO DE AGUA POR AÑO			
MES	DIAS/BOMBEO	COSTO/DIA \$	COSTO PARCIAL \$
Enero	0	\$ -	\$ -
Febrero	0	\$ -	\$ -
Marzo	0	\$ -	\$ -
Abril	25	\$ 415.00	\$ 10,375.00
Mayo	30	\$ 415.00	\$ 12,450.00
Junio	30	\$ 415.00	\$ 12,450.00
Julio	30	\$ 415.00	\$ 12,450.00
Agosto	30	\$ 415.00	\$ 12,450.00
Setiembre	30	\$ 415.00	\$ 12,450.00
Octubre	25	\$ 415.00	\$ 10,375.00
Noviembre	15	\$ 415.00	\$ 6,225.00
Diciembre	15	\$ 415.00	\$ 6,225.00
<b>COSTO TOTAL/ AÑO\$</b>			<b>\$ 95,450.00</b>

## **CAPITULO V**

### **ANÁLISIS DE DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1- ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE LA PERMEABILIDAD**

Las inyecciones para la ejecución de una pantalla de impermeabilización tienen la característica de ser realizadas en el interior de los macizos rocosos , empleando taladros de pendiendo del comportamiento y propiedades de la roca, sin la posibilidad de controlar y verificar directamente en vista de que no es posible observar como el mortero de cemento o lechada va introduciéndose a través de las fisuras y grietas del macizo rocoso, y si las inyecciones van cumpliendo con lo deseado; en tal sentido los resultados del tratamiento de la represa ANCASCCOCHA es comparado con los valores iniciales de permeabilidad, esto quiere decir el antes y el después del tratamiento además de llevar un control de inyección

durante todo el proceso a través del método JET GROUTING que posibilita la eficiencia y s del tratamiento, posteriormente se desarrolla cuadros comparativos para las diferentes etapas de inyección.

Se realiza un análisis de la oferta hídrica obtenido con el represamiento de la laguna Ancascococha para luego ser comparada con la demanda o gasto hídrico de la minera las bombas, finalmente se hace un análisis económico.

## **5.2.- EVALUACION DE LA PERMEABILIDAD**

En esta fase se comparan los valores iniciales de permeabilidad de los taladros de verificación con los resultados de permeabilidad en la etapa exploratoria, así como con los valores del estudio del expediente técnico. Bajo el concepto de una pantalla de impermeabilización, las conductividades hidráulicas altas (muy permeables) deben de reducir a valores mínimos que aseguren una pérdida permisible por filtraciones.

En este caso para una represa de enrocado con cara de concreto CFRD, (Houlsby, 1990) recomienda que la permeabilidad de la cimentación debe estar entre 5 a 7 Luegon cabe señalar que tenga valores de permeabilidad de  $K$  ( $5 \times 10^{-5}$  a  $7 \times 10^{-5}$ ) cm/s.

En base a los trabajos realizados en campo, perforaciones, pruebas hidráulicas, pruebas geomecánicas, pruebas geofísicas (sev) y datos obtenidos disponibles, los especialistas llegaron a un solo resultado que el macizo rocoso tiene una sola unidad hidrológica compuesta por diorita en ambos estribos (IZQUIERDO Y DERECHO).

## **5.3.- REDUCCION DE PERMEABILIDAD EN LOS ESTRIBOS**

En los cuadros a continuación se resume la conductividad hidráulica o pruebas de

permeabilidad de los diferentes estribos (derecho, izquierdo). Mostrando el antes y el después de las cortinas de inyección en el eje de la represa Ancascococha.

Cabe señalar que en el antes las pruebas de permeabilidad en el estribo izquierdo y derecho resultaron ser PERMEABLES, después de haber realizado la correcta inyección de lechada las pruebas de permeabilidad en los sondeos de verificación resultan ser IMPERMEABLES.

*CUADRO N° 6.1: Permeabilidad media de la unidad hidrogeológica estribo derecho*

<b>ETAPA DE EXPLORACION ESTRIBO DERECHO</b>			
<b>CODIGO</b>	<b>UNIDAD HIDROLOGICA</b>	<b>PERMEABILIDAD MEDIA (cm/s)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
P1D	Diorita	1.90E- 04	PERMEABLE
P2D	Diorita	1.50E- 04	PERMEABLE

*FUENTE: Estudio geológico AITOR I.C.*

*CUADRO N° 6.1 Permeabilidad media de la unidad hidrogeológica estribo Izquierdo*

<b>ETAPA DE EXPLORACION ESTRIBO IZQUIERDO</b>			
<b>CODIGO</b>	<b>UNIDAD HIDROLOGICA</b>	<b>PERMEABILIDAD MEDIA (cm/s)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
P1D	Diorita	1.02E- 04	PERMEABLE
P2D	Diorita	1.11E- 04	PERMEABLE

*FUENTE: Estudio geológico AITOR I.C.*

CUADRO N° 6.1 Permeabilidad media de la unidad hidrogeológica de la etapa de verificación estribo derecho

ETAPA DE VERIFICACION ESTRIBO DERECHO			
CODIGO	UNIDAD HIDROLOGICA	PERMEABILIDAD MEDIA (cm/s)	DESCRIPCION
PV01	Diorita	1.50E- 06	MUY IMPERMEABLE
PV02	Diorita	1.91E- 06	MUY IMPERMEABLE

FUENTE: Estudio geológico AITOR I.C.

CUADRO N° 6.1 Permeabilidad media de la unidad hidrogeológica de la etapa de revisión de permeabilidad del estribo izquierdo

ETAPA DE VERIFICACION ESTRIBO IZQUIERDO			
CODIGO	UNIDAD HIDROLOGICA	PERMEABILIDAD MEDIA (cm/s)	DESCRIPCION
PV03	Diorita	2.69E- 05	MUY IMPERMEABLE
PV04	Diorita	2.63E- 05	MUY IMPERMEABLE

FUENTE: Estudio geológico AITOR I.C.

## 5.4. DEMANDA DE AGUA.

### 5.4.1 DEMANDA ANUAL DE AGUA MINERA LAS BAMBAS

DESCRIPCION	AÑO EXTREMADAMENTE	PROMEDIO ANUAL
Demanda pico del agua de reposicion para el proceso	480 360 m3/año	300 240 m3/año
Agua potable	30 140 m3/año	30 140 m3/año
Control de polvo en caminos	190 492 m3/año	100 320m3/año
CONSUMO TOTAL	700, 992 m3/año	430 700m3/año



#### 5.4.2.- ALMACENAMIENTO DE AGUA EN LA REPRESA ANCASCCOCHA

La capacidad de almacenamiento artificial del embalse de la laguna Ancascococha estimada es de **510,000** m<sup>3</sup>. Esta cantidad es la almacenada por encima del espejo de la laguna, el agua ya existente en la laguna Ancascococha no se puede utilizar debido a que va contra la normativa del ANA (Autoridad Nacional del Agua).

#### 6.5.- COSTO DE OPERACIÓN DE LA IMPERMEABILIZACION.

##### 5.5.1.- COSTO DE LA REPRESA

PRESUPUESTO REPRESA ANCCASCCOCHA	
Descripción	PARCIAL S/.
<b>PRESA ANCASCOCHA (C.C)</b>	<b>2,012,584.40</b>
OBRAS PRELIMINARES	481,960.13
OBRAS EN CIMENTACION DE PRESA	481,416.38
CONFORMACION CUERPO DE PRESA (CONCRETO FC=175 KG/CM2 + 30% P.M.)	773,395.48
CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS CONEXAS	107,072.87
TRANSPORTE DE MATERIALES A PIE DE OBRA	168,739.54

##### 5.5.1.1.- COSTO DE LAS INYECCIONES

PRESUPUESTO REPRESA ANCCASCCOCHA	
Descripción	PARCIAL S/.
<b>PRESA ANCASCOCHA (C.C)</b>	<b>2,012,584.40</b>
<b>PERFORACION E INYECCION DE IMPERMEABILIZACION DE LA FUNDACION</b>	<b>348,940.90</b>
PERFORACION ROTATIVA BQ (diametro 76mm)	149,734.40
PERFORACION DE COMPROBACION ROTATIVA NQ CON EXTRACCION DE MUESTRA (D=100 mm)	13,429.30
INYECCION DE MICRO CEMENTO PORTLAND TIPO I	183,027.20
PRUEBA DE ABSORCION EN ROCA	2,750.00

## 5.6.- COSTO DE BOMBEO DE AGUA MINERA LAS BAMBAS

ABASTECIMIENTO DE AGUA			
Descripcion	Cantidad	costo unitario \$	costo total \$
Bomba de aire	2	\$ 10,000.00	\$ 20,000.00
bomba de agua 1500 gpm ,500HP	2	\$ 250,000.00	\$ 500,000.00
Columna de descarga de (tuberia) 18 " (m)	1080	\$ 200.00	\$ 216,000.00
Sistema de tuberia (valvulas y accesorios)	1	\$ 80,000.00	\$ 80,000.00
<b>costo total</b>			<b>\$ 816,000.00</b>

### 5.6.1.-COSTO DE BOMBEO HASTA LA REPRESA CHUSPIRI.

COSTO DE BOMBEO DE AGUA POR AÑO			
MES	DIAS/BOMBEO	COSTO/DIA \$	COSTO PARCIAL \$
Enero	0	\$ -	\$ -
Febrero	0	\$ -	\$ -
Marzo	0	\$ -	\$ -
Abril	25	\$ 415.00	\$ 10,375.00
Mayo	30	\$ 415.00	\$ 12,450.00
Junio	30	\$ 415.00	\$ 12,450.00
Julio	30	\$ 415.00	\$ 12,450.00
Agosto	30	\$ 415.00	\$ 12,450.00
Setiembre	30	\$ 415.00	\$ 12,450.00
Octubre	25	\$ 415.00	\$ 10,375.00
Noviembre	15	\$ 415.00	\$ 6,225.00
Diciembre	15	\$ 415.00	\$ 6,225.00
<b>COSTO TOTAL/ AÑO \$</b>			<b>\$ 95,450.00</b>

## CONCLUSIONES

1. El proceso de la impermeabilización es la inyección de lechada de cemento a todos los taladros realizados en el eje de la represa, a través de esto se forma una pantalla impermeable, posteriormente se almacena la mayor cantidad de recurso hídrico en la represa, de esta manera abastecer en las operaciones mina en la minera las Bambas.
2. La represa Ancascococha almacenara 510 000 m<sup>3</sup> de agua, esto representa el 100 % del total del recurso hídrico requerido al año y un 60% del año extremadamente seco.
3. La permeabilidad del terreno de la fundación de la represa Ancascococha se reduce de un 100% a 90% utilizando el método Jet Grouting, en los sondajes de verificación se realizaron pruebas
4. de permeabilidad que muestran una disminución de la conductividad hidráulica, en el estribo derecho se redujo de una permeabilidad de 1.50E-04 cm/s a 1.50E-06 cm/s, para estribo izquierdo se redujo de 1.11E-04 promedio de 2.63 E-05 cm/s.

5. Los costos de inyección y represamiento son de muy inferiores a los costos de instalación y bombeo que realiza la minera las bombas.

- Costo de Inyección y represamiento: S/. 2,0125 584.40
- Costo de instalación y bombeo: \$ 911 450.00

### **RECOMENDACIONES**

1. Es necesario realizar un monitoreo constante durante el llenado de la represa a fin de evaluar posibles daños o filtraciones, esta fase es muy importante ya que a pesar de tener un criterio de cierre satisfactorio las inyecciones realizadas en el eje de la represa serán puestas a prueba real en esta etapa.
2. Las mayores absorciones de lechada de cemento fueron en el estribo izquierdo de la represa, se recomienda realizar monitores constantes del macizo rocoso para un eficiente llenado de la represa.
3. Las condiciones geotécnicas y geológicas son únicas en cada represa por el comportamiento geomecánico de la matriz rocosa y se restringen el comportamiento de las inyecciones ya que estas incrementan su capacidad portante.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ampuero, S. (2012). Mejoramiento de cimentaciones en suelos y rocas aplicando las técnicas de Grouting (tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingenierías, Lima. Perú*
- Anahui, J. (2005). Cortina de impermeabilización por inyecciones de cemento en la presa Lagunillas Lampa – Puno (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa. Perú.*
- ASTM, I. (1898). Nnormaas tecnicas D 4043.
- Bieniawski, Z. ((1989)). *Engineering Rock Mass Clasifications*. John Wiley and Sons Inc.
- Bruce, D. &. (1983). *Slabjacking at Tarbela*.
- Donald A. & Kenneh D. (1992). *Dam Foundation Grouting*.
- Ewert, F. (2003). *Discussion of rock type related criteria for curtain grouting*. ASCE.
- Houlsby, A. C. (1990). *Construction and design of cement grouting: a guide to grouting in rock foundations*. New York: Jonh Wiley and Sons, INC .
- Littejohn, G. (1992). *Report on Session 2 : Consolidation grouting. Grouting en the ground* . London: Institution of civil enginners.

Warner, j. (1992). *Compaction Grout: Rheology vs Effectiveness. in Gouting , Soil Improvement and Geosynthetics*. NEW YORK: ASCE.

Weaver k, & Bruce, D. (2007). *Dam Foundation Grouting*,. ASCE.

Welsh, J. a. (1991). *Jet Grouting - User For Soil Improvement*. GSP. BOULDER.

ANEXOS

Precipitación mensual estaciona ANTABAMBA

SENAMHI  
Oficina General de Estadística e Informática



OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ESTACION : ANTABAMBA / 000748 / DRE-12

PARAMETRO : PRECIPITACION TOTAL MENSUAL ( mm )

LAT. : 12° 14' 22" S - ESTADIST. : DPTO. APURIMAC

LONG. : 72° 53' 11" W - PROV. : ANTABAMBA

ALT. : 3639 msnm

DIST. : ANTABAMBA

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1964	69.6	110.7	91.4	75.2	7.8	0.0	4.0	12.6	12.1	27.1	67.7	59.4
1965	92.5	228.0	91.0	25.8	9.6	0.6	22.2	0.8	1.0	57.5	18.5	127.9
1966	136.0	100.9	138.3	13.1	49.3	0.0	1.7	8.0	19.8	109.8	90.0	125.2
1967	204.9	209.6	275.2	68.7	15.6	5.3	18.8	20.7	35.0	52.6	23.8	38.1
1968	209.8	127.4	188.8	26.3	1.9	17.2	6.8	30.8	10.9	94.5	110.9	107.3
1969	150.1	163.4	123.7	32.3	4.0	2.0	1.4	9.4	S/D	S/D	S/D	S/D
1970	S/D	S/D	140.9	18.3	10.3	1.8	6.6	4.2	68.3	45.9	59.0	132.7
1971	188.0	268.3	155.1	73.7	4.7	8.0	0.0	0.0	4.4	36.7	28.7	160.7
1972	337.2	212.9	201.4	41.0	14.0	0.0	0.8	14.2	67.0	81.0	42.7	97.8
1973	226.6	243.5	167.6	60.3	7.4	6.7	9.1	24.4	62.6	21.0	69.2	102.9
1974	287.7	280.5	141.2	71.7	14.8	29.8	0.8	95.5	20.3	23.8	58.9	72.5
1975	167.8	168.2	177.7	29.6	38.4	19.3	0.0	10.5	32.9	40.4	S/D	S/D

PROHIBIDA SU REPRODUCCION  
PARCIAL O TOTAL

INFORMACION PREPARADA PARA : ANABI S.A.C.  
LIMA - 9 DE JULIO DEL 2010



SENAMHI

Oficina General de Estadística e Informática



## OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ESTACION : CHALHUANCA / 000747 / DRE-12

PARAMETRO : PRECIPITACION TOTAL MENSUAL ( mm )

LAT: 14° 23' "S"

LONG: 73° 10' "W"

ALT: 3358 msnm

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2000	251.3	247.7	212.8	48.3	S/D	14.0	S/D	20.0	9.3	42.0	35.2	96.1
2001	284.9	213.7	199.6	68.7	34.7	1.7	26.4	30.9	19.7	66.6	38.2	52.8
2002	134.7	181.1	165.0	58.8	5.9	4.5	75.7	14.7	28.4	84.3	78.9	92.1
2003	117.0	123.6	237.1	34.5	14.0	0.0	4.0	21.8	23.5	29.5	33.0	108.7
2004	107.6	200.5	109.4	45.0	1.1	13.9	31.4	15.9	34.5	22.9	41.0	65.6
2005	148.6	112.1	73.1	35.0	0.0	0.0	4.6	7.6	50.3	20.0	13.9	161.3
2006	183.5	198.3	205.9	53.8	0.0	0.0	0.0	14.3	3.6	74.3	118.0	70.2
2007	124.5	134.1	225.2	36.5	4.5	0.0	3.8	0.0	20.9	10.8	25.9	71.5
2008	203.0	217.5	80.9	30.8	0.7	11.6	0.0	2.9	0.0	33.5	14.6	73.7
2009	110.5	144.7	163.5	86.5	0.0	0.0	19.4	0.0	S/D	27.8	72.7	81.5

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL

S/O: Sin Datos

T = Traza

INFORMACION PREPARADA PARA : ANABI S.A.C.

LIMA, 9 DE JULIO DEL 2010



Precipitación mensual estaciona SANTO TOMAS

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

**DIRECCION ZONAL 12**

ESTACION: SANTO TOMAS  
PARAMETRO:

LATITUD: 14° 23' 55.8" DPTO: CUSCO  
LONGITUD: 72° 05' 15.8" PROV. CHUMBIVILCAS  
ALTITUD: 3 242 m.s.n.m. DIST.: LLUSCO

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS EN (mm)												
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2010	23.5	45.0	28.7	32.0	10.5	0.0	0.7	0.0	2.8	16.8	29.5	21.0
2011	23.3	28.5	26.0	26.0	5.8	0.4	4.8	11.7	11.1	15.2	25.5	19.9
2012	23.0	28.9	32.2	30.2	0.8	0.0	0.9	0.0	9.0			
2013		37.7	21.5	34.0	2.9	7.2	1.7	14.5	2.8	15.6	17.0	32.6
2014	29.1	25.9	22.1	8.7	2.7	0.0	0.4	3.3	19.6	51.5	13.5	25.7
2015	26.3	22.3	42.9	17.8	10.1	0.0	2.4	8.3	3.0	15.6	11.6	
2016	19.1	25.2	35.2	27.0	4.3	3.0	5.6	9.4	3.2	7.9	12.9	8.3
2017	23.9	24.8	51.9	36.8	5.8	0.0	10.0		16.2	15.8	11.8	33.6

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL EN (mm)												
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2010	198.3	175.2	136.9	82.8	23.8	0.0	0.7	0.0	3.3	42.2	58.5	166.4
2011	190.1	191.5	205.3	95.8	11.7	0.4	4.8	29.5	56.3	34.3	72.0	126.2

PRECIPITACION TOTAL MENSUAL EN (mm)												
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2015	221.3	176.5	201.0	70.6	10.1	0.0	4.3	18.6	4.1	38.9	63.4	
2016	63.5	234.2	141.5	62.9	7.4	3.7	5.6	12.4	6.6	55.5	33.8	75.2
2017	175.8	162.5	269.1	89.9	20.8	0.0	10.4		50.5	65.5	61.7	155.0

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN (°C)												
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2010	15.1	14.8	15.2	14.2	12.2	11.0	10.4	12.1	14.5	15.6	16.5	14.4
2011	14.6	13.6	14.0	13.5	11.5	10.1	10.0	11.4	13.4	15.1	16.1	14.8
2012	14.1	13.4	14.2	13.6	10.9	9.8	10.2	11.2	15.0			
2013		14.8	14.4	12.9	12.4	10.7	10.4	11.4	13.9	15.5	16.6	14.4
2014	14.1	14.8	14.1	13.5	11.7	11.1	11.0	12.2	14.2	15.4	16.5	15.9
2015	14.6	14.7	14.5	13.6	12.3	11.1	10.7	12.1	14.6	15.7	17.1	
2016	16.4	15.6	15.6	13.9	12.1	10.2	10.3	12.3	15.2	15.3	16.3	15.9
2017	14.9	15.0	14.7	13.7	12.4	10.5	10.5	12.3	14.7	15.2	16.7	15.8

Preparado Para:  
"AITOR INGENIERIA Y CONSTRUCCION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - AITOR I.C.S.A.C."  
Cusco, 14 de agosto de 2018



Ing. Evelyn Huamán Gutiérrez  
DIRECTOR ZONAL  
CIP 69048

VÁLIDO SOLO EN ORIGINAL

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

**Título:** “Aplicación del Método Jet Grouting para la impermeabilización de la represa Ancascococha y Disponibilidad Hídrica en Minera las Bambas - Apurímac”.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA
<p><b>. Problema General</b> ¿Cuál es el proceso de la impermeabilización en la represa Ancascococha, aplicando el método Jet Grouting, para la disponibilidad del recurso hídrico y su abastecimiento para las operaciones mina en la Minera las Bambas – Apurímac?</p>	<p><b>Objetivo General.</b> O.- Desarrollar el proceso de las cortinas de impermeabilización en la represa Ancascococha, aplicando el método Jet Grouting. Para la disponibilidad del recurso hídrico y su abastecimiento para las operaciones mina en la minera las Bambas – Apurímac.</p>	<p><b>HIPOTESIS GENERAL.</b> Con la utilización el método Jet Grouting se impermeabilizará las fracturas de la fundación del macizo rocoso en la represa Ancascococha, y determinar la disponibilidad del recurso hídrico y su abastecimiento para las operaciones mina de la minera las Bambas</p>	<p><b>Variable Independiente.</b> Implementación del método Jet Grouting. <b>Indicadores:</b> -diseño de mezclas -inyecciones de impermeabilización -Sondaje de verificación</p>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> básico experimental.</p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b> Descriptivo-correlacional</p>
<p><b>Problemas Específicos</b> P1.- ¿En qué medida la impermeabilización utilizando el método Jet Grouting determina la disponibilidad del recurso hídrico para las operaciones mina en la minera las Bambas – Apurímac?</p> <p>P.- ¿En qué medida se reducirá la permeabilidad del macizo rocoso aplicando el método Jet Grouting</p> <p>P3.- ¿Cómo son los costos de operación de la impermeabilización en la represa Ancascococha utilizando el método Jet Grouting de inyecciones en la minera las Bambas?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b> <b>O1.-</b> Determinar la capacidad de almacenamiento del recurso hídrico en la represa para el desarrollo de las operaciones mina. <b>O2.-.</b> Reducir la permeabilidad del terreno de fundación de la represa Ancascococha utilizando el método Jet Grouting en base a las características geológicas y geotécnicas del macizo rocoso. <b>O3.-</b> Determinar los costos de operación utilizando el método Jet Grouting de inyecciones en la represa Ancascococha.</p>	<p><b>2 Hipótesis Específicos</b> <b>H 1.-</b> Con la aplicación del método Jet Grouting de inyecciones se determinará la capacidad del recurso hídrico en la represa para el desarrollo de las operaciones mina en la minera las Bambas. <b>H2.-</b> La efectividad en el proceso de la impermeabilización reducirá la permeabilidad del macizo rocoso, aplicando el método Jet Grouting de inyecciones en la represa Ancascococha. <b>H3.-</b> Los costos de operación de la impermeabilización en la represa Ancascococha utilizando el método Jet Grouting de inyecciones serán menores en comparación al costo de equipamiento y bombeo de agua en la represa Chuspiri.</p>	<p><b>Variable Dependiente.</b> Disponibilidad hídrica <b>Indicadores</b> -Actividad minera -Uso de agua -Área de cuenca  <b>variables intervinientes.</b> Influencia de la geomorfología <b>Indicadores</b> -precipitación pluvial -temperatura</p>	<p><b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b>  <b>Población</b>  -la represa Ancascococha  <b>Muestra</b>  -La represa Ancascococha</p>